



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Tecnología Electrónica

PROYECTO FIN DE CARRERA

SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA MODULAR PARA ENSAYOS CON LED BLANCOS

Autor: Carlos Mayoral Tévar

Tutor: Ernesto García Ares

Leganés, abril de 2011



Agradecimientos

Llegado este punto, quizás éste sea el capítulo más difícil de escribir, no porque no sepa a quien agradecerle todo su esfuerzo, sino porque no creo que haya palabras suficientes para hacerlo.

En primer lugar tengo que referirme a todos aquellos compañeros que, cada uno a su manera, aportaron su granito en el día a día compartiendo penas y alegrías, pero al hablar de mis compañeros es inevitable que haga una parada en mi amigo Alex, del que con una amplia sonrisa soy incapaz de recordar malos momentos a su lado, solo puedo recordar los incontables cafés y sus siempre importantes para mí consejos y observaciones.

No puedo pasar por alto la familia que me ha acogido en su seno como a uno más, mis suegros Miguel y Charo, mis cuñados Miguel y Silvia, y aún sin darse cuenta mis sobrinillos Miguel y Adriana, familia que con su apoyo y cariño se han ganado un hueco en mi corazón y han compartido mis sueños y esperanzas.

Estos agradecimientos estarían cojos si no hablo de mi hermano Raúl y su media naranja Virginia, indiscutibles referentes de buen hacer, siendo sincero, no creo que pueda haber ningún ejemplo mejor que mi hermano, no sólo a nivel educativo, que es excelente, sino a nivel personal, habiendo sido toda mi vida mi amigo y compañero de fatigas, gracias por estar ahí.

Si tengo que hablar de la luz en mi camino, sólo me sale un nombre, Lucía, sin embargo me recorren una infinidad de sentimientos, todos ellos excepcionales, muchas gracias por estar a mi lado en los buenos momentos y sobre todo por tu comprensión y apoyo en los momentos difíciles, no podría haberlo conseguido sin ti y sólo espero seguir viviendo la vida a tu lado.

Por último quiero cerrar estos agradecimientos dedicando este triunfo a mis padres, de los que me resulta difícil hablar sin dejar caer alguna lágrima, esa confianza, ese apoyo y ese amor que siempre me habéis dado han hecho de mí quien soy en la vida y nunca podré explicaros con unas simples palabras cuanto os debo y lo agradecido que me siento, ¡OS QUIERO MUCHO!.

Muchas gracias a todos



Resumen

Este proyecto recoge el conjunto de las actividades de estudio, diseño y ejecución de un sistema de control de temperatura, destinado a la realización de ensayos a temperatura constante con LED blancos.

En el diseño, se ha tenido en cuenta la necesidad de adaptarse al amplio rango de potencias en el que trabajan los LED blancos, teniendo en cuenta además, que éste es un parámetro en constante evolución. Como ejemplo, basta señalar que, al inicio de los trabajos en este proyecto los dispositivos más grandes disponibles eran de 5 a 10W y en la actualidad ya se comercializan dispositivos de 50W. Por ello, se ha optado por un diseño modular, capaz de “crecer” en paralelo a los dispositivos cuya temperatura se quiere controlar.

A la par del desarrollo teórico del sistema se han realizado los correspondientes ensayos empíricos, describiendo de forma detallada y experimental el funcionamiento del sistema.



Abstract

This project includes the study, design and implementation of a temperature control system, intended for testing white LEDs at constant temperature.

The design has taken into account the need to comply with the wide range of powers in which white LEDs are currently manufactured, and with the higher operating powers that can be expected in the near future. As an example, it is sufficient to note that, when work on this project began, the largest devices available featured powers of 5 to 10 W whereas now, devices of up to 50 W are being marketed. Therefore, we have opted for a modular design, able to “grow” in parallel to the devices whose temperature is to be controlled.

Alongside the theoretical development of the system, the relevant empirical tests have been made, describing system operation in depth and experimentally.



Índice

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO
- 1.2. OBJETIVO
- 1.3. CONTENIDO DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

- 2.1. INTRODUCCIÓN
 - 2.1.1. ILUMINACIÓN LED
 - 2.1.2. EFECTO PELTIER
 - 2.1.2.1. FUNCIONAMIENTO DE LA CÉLULA DE PELTIER

CAPÍTULO 3. DISEÑO

- 3.1. ARQUITECTURA GENERAL
- 3.2. SENSOR DE TEMPERATURA
- 3.3. ACTUADOR TÉRMICO
- 3.4. ACONDICIONAMIENTO DEL SENSOR
 - 3.4.1. DISEÑO DEL ACONDICIONAMIENTO
 - 3.4.2. ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL
- 3.5. CONTROL DEL ACTUADOR
 - 3.5.1. CONSIDERACIONES PARA LA ETAPA DE POTENCIA

CAPÍTULO 4. MEDIDAS EXPERIMENTALES

- 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ACTUADOR TÉRMICO
- 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ETAPA DE POTENCIA
- 4.3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA COMPLETO



CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- 5.1. CONCLUSIONES EXPERIMENTALES
- 5.2. CONCLUSIONES GENERALES
- 5.3. AMPLIACIONES DE DISEÑO

PLIEGO DE CONDICIONES

PLANOS

PRESUPUESTO



INDICE DE FIGURAS Y TABLAS:

FIGURAS:

- Figura 1: Luminaria de seguridad Philips
- Figura 2: Fotografía ilustrativa de los distintos encapsulados para diodos LED
- Figura 3: Esquema funcionamiento célula de Peltier
- Figura 4: Detalle constitución física célula de Peltier
- Figura 5: Diagrama de bloques arquitectura sistema
- Figura 6: Disposición física de elementos de actuador térmico
- Figura 7: Esquema 1ª alternativa
- Figura 8: Simulación diseño 1ª alternativa
- Figura 9: Esquema 2ª alternativa
- Figura 10: Simulación diseño 2ª alternativa
- Figura 11: Esquema 3ª alternativa
- Figura 12: Simulación diseño 3ª alternativa
- Figura 13: Diseño acondicionamiento señal Pt100
- Figura 14: Diagrama de bloques para actuador térmico
- Figura 15: Diagrama interno de integrado LM3524D
- Figura 16: Diagrama interno de integrado LMD18200
- Figura 17: Esquema funcionamiento LMD18200
- Figura 18: Regulador PI
- Figura 19: Detalle 1 PCB + conector
- Figura 20: Detalle 2 PCB + disipador LMD18200
- Figura 21: Detalle 3 PCB + disipador SMD
- Figura 22: Detalle 4 PCB tecnología SMD
- Figura 23: Detalle 5 PCB tecnología SMD
- Figura 24: Fenómeno de congelación en la carga
ET-287-41-25-E
- Figura 25: Gráfico de temperatura absoluta en la carga, Peltier
ET-287-41-25-E
- Figura 26: Gráfico de rendimiento del actuador térmico
- Figura 27: Gráfico de temperatura absoluta en la carga, Peltier
ET-287-10-13-E
- Figura 28: Gráfico de rendimiento del actuador térmico, Peltier
ET-287-10-13-E



- Figura 29: Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 1 KHz
Figura 30: Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 5 KHz
Figura 31: Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 10 KHz
Figura 32: Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 50 KHz
Figura 33: Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 100 KHz
Figura 34: LMD18200_1 (D.C. 20%)
Figura 35: LMD18200_2 (D.C. 20%)
Figura 36: LMD18200_3 (D.C. 20%)
Figura 37: LMD18200_4 (D.C. 20%)
Figura 38: LMD18200_5 (D.C. 20%)
Figura 39: LMD18200_6 (D.C. 20%)
Figura 40: LMD18200_1 (D.C. 40%)
Figura 41: LMD18200_2 (D.C. 40%)
Figura 42: LMD18200_3 (D.C. 40%)
Figura 43: LMD18200_4 (D.C. 40%)
Figura 44: LMD18200_5 (D.C. 40%)
Figura 45: LMD18200_6 (D.C. 40%)
Figura 46: LMD18200_1 (D.C. 60%)
Figura 47: LMD18200_2 (D.C. 60%)
Figura 48: LMD18200_3 (D.C. 60%)
Figura 49: LMD18200_4 (D.C. 60%)
Figura 50: LMD18200_5 (D.C. 60%)
Figura 51: LMD18200_6 (D.C. 60%)
Figura 52: LMD18200_1 (D.C. 80%)
Figura 53: LMD18200_2 (D.C. 80%)
Figura 54: LMD18200_3 (D.C. 80%)
Figura 55: LMD18200_4 (D.C. 80%)
Figura 56: LMD18200_5 (D.C. 80%)
Figura 57: LMD18200_6 (D.C. 80%)
Figura 58: LMD18200_1 (I_{peak} = 2 A)
Figura 59: LMD18200_2 (I_{peak} = 2 A)
Figura 60: LMD18200_3 (I_{peak} = 2 A)
Figura 61: LMD18200_4 (I_{peak} = 2 A)
Figura 62: LMD18200_5 (I_{peak} = 2 A)
Figura 63: LMD18200_6 (I_{peak} = 2 A)
Figura 64: LMD18200_1 (I_{peak} = 4 A)



- Figura 65: LMD18200_2 ($I_{peak} = 4 \text{ A}$)
Figura 66: LMD18200_3 ($I_{peak} = 4 \text{ A}$)
Figura 67: LMD18200_4 ($I_{peak} = 4 \text{ A}$)
Figura 68: LMD18200_5 ($I_{peak} = 4 \text{ A}$)
Figura 69: LMD18200_6 ($I_{peak} = 4 \text{ A}$)
Figura 70: LMD18200_1 ($I_{peak} = 6 \text{ A}$)
Figura 71: LMD18200_2 ($I_{peak} = 6 \text{ A}$)
Figura 72: LMD18200_3 ($I_{peak} = 6 \text{ A}$)
Figura 73: LMD18200_4 ($I_{peak} = 6 \text{ A}$)
Figura 74: LMD18200_5 ($I_{peak} = 6 \text{ A}$)
Figura 75: LMD18200_6 ($I_{peak} = 6 \text{ A}$)
Figura 76: Gráfico representativo de la estabilidad térmica del sistema.
Figura 76: Gráfico representativo del rendimiento del sistema.

TABLAS:

- Tabla 1: Características sondas de temperatura resistivas
Tabla 2: Especificaciones sobre tamaño y composición de las pistas para la fabricación de PCB
Tabla 3: Medidas con carga de simulación de 0 W, Peltier en uso, ET-241-10-25-E
Tabla 4: Medidas con carga de simulación de 1 W, Peltier en uso, ET-241-10-25-E
Tabla 5: Medidas con carga de simulación de 2 W, Peltier en uso, ET-241-10-25-E
Tabla 6: Medidas con carga de simulación de 5 W, Peltier en uso, ET-241-10-25-E
Tabla 7: Medidas con carga de simulación de 10 W, Peltier en uso, ET-241-10-25-E
Tabla 8: Medidas con carga de simulación de 20 W, Peltier en uso, ET-241-10-25-E



Tabla 9: Medidas con carga de simulación de 0 W, Peltier en uso, ET-287-10-13-E

Tabla 10: Medidas con carga de simulación de 1 W, Peltier en uso, ET-287-10-13-E

Tabla 11: Medidas con carga de simulación de 2 W, Peltier en uso, ET-287-10-13-E

Tabla 12: Medidas con carga de simulación de 5 W, Peltier en uso, ET-287-10-13-E

Tabla 13: Medidas con carga de simulación de 10 W, Peltier en uso, ET-287-10-13-E

Tabla 14: Medidas con carga de simulación de 20 W, Peltier en uso, ET-287-10-13-E

Tabla 15: Medidas de estabilidad para $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, Peltier en uso, ET-241-10-25-E

Tabla 16: Medidas de estabilidad para $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, Peltier en uso, ET-241-10-25-E

Tabla 17: Medidas de estabilidad para $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, Peltier en uso, ET-287-10-13-E

Tabla 18: Medidas de estabilidad para $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, Peltier en uso, ET-287-10-13-E



MEMORIA



CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

Actualmente la tecnología LED se encuentra en pleno auge a consecuencia, sobre todo, de su creciente número de aplicaciones en la electrónica de consumo. De especial interés para el presente trabajo son los LED blancos para aplicaciones de iluminación, en sustitución de las antiguas lámparas de filamento y/o de sus modernas sucesoras fluorescentes.

En este campo de aplicación, tiene especial importancia el tono de blanco (o temperatura de color) de la luz emitida por el dispositivo, y su posible variación con la temperatura de funcionamiento.

Precisamente, el objetivo de este proyecto es el diseño y caracterización experimental de un sistema de control de temperatura para poder caracterizar el comportamiento de LED blancos de distintas potencias a diferentes temperaturas de funcionamiento.

Para el control se ha adoptado como actuador térmico, a diferencia de otros actuadores térmicos más comunes un módulo de Peltier que actuará como bomba de calor bidireccional entre el ambiente a controlar térmicamente y el exterior, ya sea aumentando o disminuyendo la temperatura de trabajo.

El alcance futuro del proyecto será el poder hacer extensible el sistema de instrumentación diseñado, a otros sistema de propósito común al ocupado en esta memoria, de forma que el trabajo realizado sea de máxima utilidad para proyectos futuros ya sean a nivel docente o con fondo experimental.



1.1. Motivación del proyecto

La idea de acometer este proyecto surgió de un interés común por parte del GSEP (Grupo de Sistemas Electrónicos de Potencia, del Departamento de Tecnología Electrónica) y por parte del alumno para desarrollar un sistema de instrumentación capaz de alcanzar los objetivos propuestos:

- Para el GSEP, por la utilidad del desarrollo presentado para la aplicación de la normativa concerniente a la tecnología LED. En lo referente a los ensayos a diferentes temperaturas.
- Para el alumno, porque establece la posibilidad de afrontar el desarrollo de un sistema electrónico de control real, tanto en su faceta teórica como experimental.

1.2. Objetivos

El principal objetivo acometido en el proyecto ha sido la elaboración de un sistema de instrumentación electrónica capaz de controlar la temperatura de un dispositivo LED sometido a distintas condiciones de trabajo (potencia aplicada y temperatura ambiente). Prestando especial interés en el acondicionamiento de la señal de estado, temperatura, desde su medición hasta la actuación consecuente de su variación.



1.3. Contenido de la memoria

La memoria está compuesta por 3 bloques temáticos, organizados en 5 capítulos:

- **Bloque 1. Descripción del proyecto y antecedentes tecnológicos.**
 - Capítulo 1. Introducción. Breve introducción del proyecto junto con sus motivaciones y objetivos, así como su contenido.
 - Capítulo 2. Estado del arte. Desarrollo tecnológico y trascendencia en el futuro.
- **Bloque 2. Diseño del sistema.**
 - Capítulo 3. Diseño. Descripción del actuador térmico, acondicionamiento de la señal de temperatura y especificaciones de trabajo.
- **Bloque 3. Medidas experimentales y conclusiones.**
 - Capítulo 4. Medidas experimentales. Descripción del método experimental así como los resultados obtenidos.
 - Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro: Conclusiones obtenidas a lo largo de la elaboración del proyecto.



CAPÍTULO 2:

ESTADO DEL ARTE

2.1. Introducción

Establecer una línea temporal en la evolución de la iluminación es realmente complejo, debido a que es un campo que siempre se ha tratado de forma muy específica en referencia a la aplicación desarrollada, de tal forma que, luminarias tales como las lámparas fluorescentes han tenido gran presencia en el siglo pasado mostrándose presentes en oficinas, aparcamientos, lugares públicos de tránsito,... mientras que tecnologías ya obsoletas para estos campos de acción, como pueden ser las lámparas incandescentes de Tungsteno, se han mantenido predominantes en el consumo doméstico, o en campos como la iluminación en los medios de transporte.

Sin embargo, la revolución de las nuevas aplicaciones de iluminación basadas en tecnología LED, da un giro a esta línea temporal difusa, ya que su uso se está haciendo extensible a prácticamente todos los campos de aplicación, permitiendo desde luminarias exteriores en lugares de tránsito hasta iluminación en pequeños dispositivos electrónicos de consumo.

2.1.1. Iluminación LED

Los diodos emisores de luz se basan en la tecnología semiconductora, adoptando así todas sus ventajas e inconvenientes.

La mejor forma de establecer las ventajas de esta tecnología es la comparación con la tecnología a sustituir que son las lámparas incandescentes

de hilo de tungsteno y las lámparas fluorescentes compactas (CFL: Compact Fluorescent Light). Actualmente ambas son las tecnologías más extendidas en las aplicaciones de iluminación, aunque poco a poco son desplazados por la tecnología LED mucho más eficiente en cuanto a rendimiento energético y de mayor vida útil.

El principal argumento para llevar a cabo la sustitución de una tecnología por otra, es la gran diferencia de rendimientos, ya que el rendimiento de una lámpara incandescente se encuentra entre un 10 y 15 % mientras que el rendimiento de un LED es alrededor del 90 %. Si bien es verdad que, para alcanzar la misma intensidad lumínica, son necesarios varios dispositivos LED, esto, lejos de ser un inconveniente, permitirá una mayor flexibilidad en cuestiones como mantenimiento o sustitución parcial de los elementos lumínicos, es decir, en caso de producirse la rotura o avería de un LED en una aplicación como, por ejemplo, la luz de un semáforo, no supondría la disfunción total del dispositivo, permitiendo que el tiempo de reparación sea más flexible y por tanto mejorar factores como la disminución de los trastornos ocasionados por averías, o incluso disminuir costes de mantenimiento.

Importantes fabricantes, como puede ser Philips, ya disponen de luminarias de tecnología LED para campos de aplicación específica como por ejemplo, en la figura 1, se muestra una luminaria de seguridad con un consumo muy reducido, tan sólo de 10 W.



Figura 1

Otra ventaja de los LED frente a las lámparas fluorescentes es la sencillez de su tecnología, ya que a diferencia de éstas, su correcto funcionamiento se produce mediante corriente continua, simplificando así su electrónica de control y posibilitando realizar el control de intensidad lumínica

mediante un simple dimming, con control del valor medio de la corriente por modulación de anchura de impulso (PWM, Pulse Width Modulation).

Otra de las ventajas a resaltar es la flexibilidad de su encapsulado, permitiendo su elaboración en materiales sintéticos como policarbonatos altamente resistentes a los factores ambientales, haciendo entonces del LED un dispositivo ideal para ambientes altamente agresivos o aplicaciones de intemperie, donde es imprescindible mantener un nivel lumínico que asegure la seguridad de los usuarios, como podría ser la luz de un túnel o una luz indicadora de un testigo de emergencia. Además esta flexibilidad en su encapsulado tiene otras ventajas, como la reducción drástica del peso con respecto a los tubos fluorescentes, pudiendo en muchas ocasiones prescindir de complejos anclajes, o la posibilidad de utilizarlos en espacios reducidos, bien sea por su tamaño, o por la baja emisión de potencia calórica, esta cualidad ha permitido observar esta tecnología en dispositivos tales como los teléfonos móviles o pequeños mandos a distancia.



Figura 2

Una de las últimas aplicaciones en la electrónica de consumo y en actual fase de desarrollo de producto, es la utilización de la tecnología LED en pantallas de interfaz con usuarios en netbooks o incluso en pantallas de televisión, alcanzando una gran resolución con un consumo menor de potencia.



Estas y otras muchas razones hacen de la tecnología LED una opción factible y viable de futuro en actual desarrollo que requiere, para que el usuario final pueda seleccionar de forma correcta el dispositivo que mejor se ajusta a la aplicación deseada, normalización de aquellas medidas tales como la vida útil, condiciones de servicio o limitaciones del dispositivo, al igual que ocurre con otros dispositivos emisores de luz.

2.2. Efecto Peltier

Debemos el descubrimiento de dicho efecto al científico Jean Peltier, que en el año 1834, dio a conocer el efecto termoeléctrico que lleva su nombre, que se utilizará a lo largo de proyecto. Sin embargo la utilización de dispositivos basados en este principio es relativamente reciente, debido a que hasta el actual desarrollo de los semiconductores en otras tecnologías, no era factible su utilización en aplicaciones de electrónica de consumo, debido a los elevados costes.

El funcionamiento es realmente simple, basándose en que, al pasar una corriente eléctrica por dos conductores diferentes cuya unión se encuentra a una misma temperatura, se produce un efecto de bomba de calor, de forma que una cara se enfriará a consecuencia de que la cara opuesta se caliente. El comportamiento es el contrario del efecto Seebeck utilizado en los termopares, donde la diferencia de temperatura entre las uniones de dos conductores genera una fuerza electromotriz.

El salto térmico es debido a que los dos conductores intentan volver a su estado de equilibrio en el que se encuentran cuando están en reposo, una vez que se inicia la circulación de corriente, una de las caras expulsará calor al exterior (cara caliente) mientras que la cara opuesta absorberá calor (cara fría), pudiendo así alcanzar saltos térmicos considerables, de decenas de grados centígrados, entre sus dos caras.



Este funcionamiento es absolutamente bidireccional, ya que el único factor que determina el sentido de bombeo de calor es la corriente circulante; de esta forma mediante un control electrónico se podrá utilizar el dispositivo para enfriar o calentar un medio, sin más que invertir la polaridad de la corriente.

Otra cualidad de la célula de Peltier es su comportamiento proporcional, siendo el salto térmico entre las caras caliente y fría, para un valor constante del calor a bombear, proporcional a la corriente aplicada.

Estas cualidades (bombeo de calor proporcional y bidireccional, según el módulo y signo de la corriente aplicada) serán de gran utilidad para nuestro proyecto en concreto ya que facilita el control de temperatura dándonos mayor rango de acción para el controlador.

2.2.1. Funcionamiento de la célula de Peltier

La transferencia de calor entre las dos caras de una célula de Peltier se produce de la siguiente forma: en la cara fría, la energía (calor) es absorbida por los electrones, al pasar de un estado de bajo nivel energético en el semiconductor de tipo 'p' a un estado de alto nivel energético en el semiconductor de tipo 'n'. El encargado de proporcionar la energía necesaria para llevar a cabo este proceso es la fuente de corriente continua que mantendrá el flujo de corriente en el circuito.

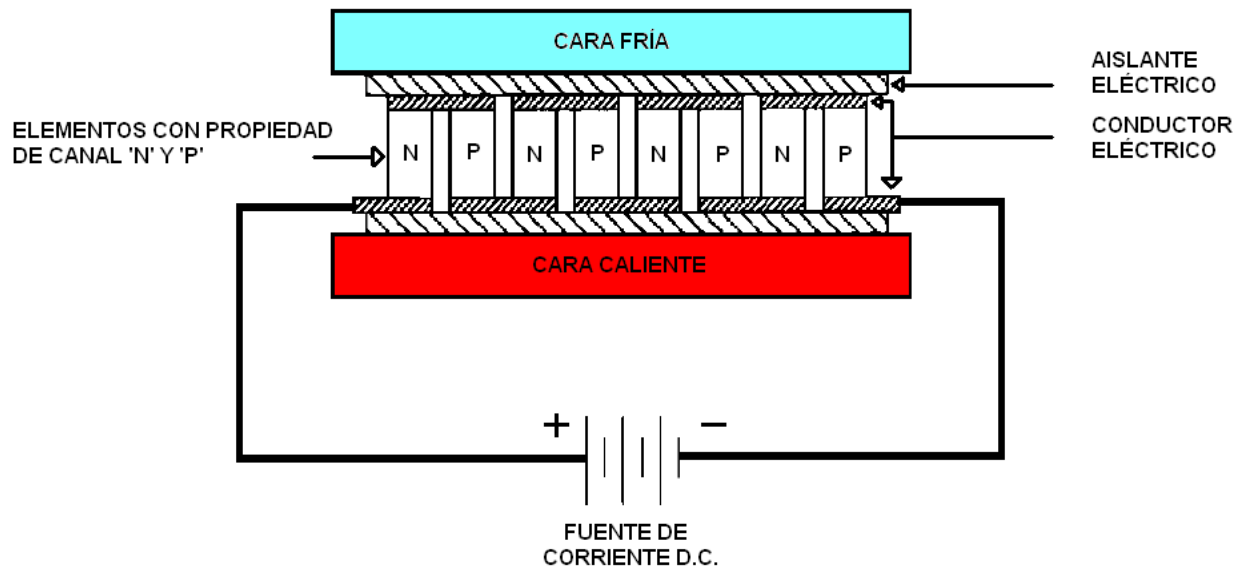


Figura 3

A la hora de seleccionar el Peltier más adecuado a unas especificaciones determinadas, se deberá atender a tres parámetros principalmente:

T_C : Temperatura en la cara fría

T_H : Temperatura en la cara caliente

Q_C : Calor a bombear de una cara a otra

El buen funcionamiento se basa en la simplicidad de los elementos a intervenir, de esta forma el calor bombeado se puede definir mediante la siguiente ecuación:

$$Q = K_{ab} \cdot I \cdot t$$

Donde K_{ab} es una constante de proporcionalidad dependiente únicamente de los elementos conductores que forman la célula, I , es la corriente circulante y t es el tiempo de funcionamiento.



La gran desventaja de los módulos de Peltier frente a las convencionales bombas de calor fundamentadas en el ciclo de Carnot, es su bajo rendimiento energético, debido a que necesita un gran consumo de corriente para producir la transferencia de calor. Por esta razón, para aquellos elementos de consumo que requieren una transferencia de calor constante y con un rendimiento energético alto son utilizadas las bombas de calor basadas en el ciclo de Carnot, en el que se aplican fluidos refrigerantes como puede ser el R-124.

No obstante, hay otras características que han conducido a la utilización de los elementos Peltier como son la ausencia de partes móviles, siendo todos sus elementos de estado sólido, o la ausencia de fluidos, como son los gases de refrigeración, que requieran circuitos estancos, y por supuesto en caso de que la aplicación tenga requerimientos como son un reducido tamaño, un bajo peso o debe ser un diseño de bajo coste, la mejor opción es el dispositivo Peltier.

En el actual proyecto uno de los factores determinantes es el control electrónico que será mucho más simple para un elemento Peltier que para otros sistemas para bombear calor, como se detallará en posteriores capítulos, el sistema de control podrá extrapolarse para proyectos de mayor envergadura en los que, atendiendo a las modificaciones oportunas a nivel físico, el concepto de funcionamiento será el mismo.

El formato en el que comercializan los módulos, o células, de Peltier siempre es similar, consistente en dos placas de material cerámico paralelas entre sí (que constituyen las caras caliente y fría del dispositivo) entre las que se encuentra el material semiconductor dopado para formar el canal positivo (canal p) y el canal negativo (canal n). Dependiendo de la potencia del Peltier y concretamente del calor que se quiere bombear, se encuentran diferentes tamaños en las superficies de las caras caliente y fría.

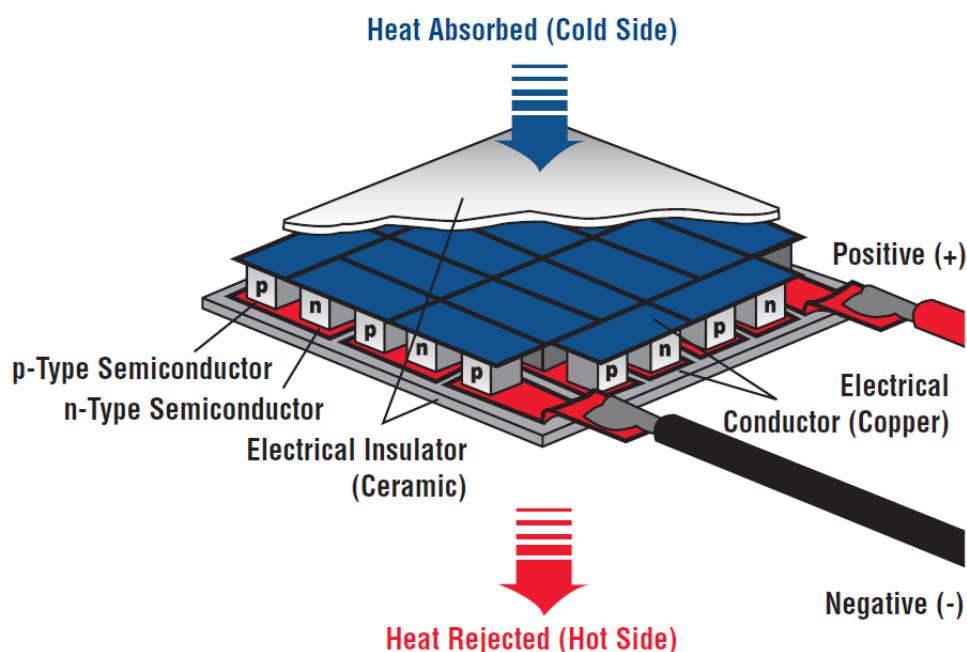


Figura 4

Aunque no es la aplicación que se desarrolla en este proyecto, por las cualidades de este dispositivo también se puede utilizar como elemento generador de energía eléctrica. Para ello, en vez de fijar una corriente circulante entre sus terminales, el elemento de control sería la temperatura en ambas caras del dispositivo, con lo que se consigue una corriente proporcional a esta diferencia de temperatura.

Dentro de la familia de los dispositivos de efecto Peltier se encuentra una amplia gama desarrollada específicamente para tal propósito. Estos dispositivos presentan altas temperaturas máximas de funcionamiento en la cara caliente, siendo éste un factor clave a la hora de generar energía a partir de un salto térmico fijo.

Se puede encontrar estos elementos funcionando como generadores en sistemas térmicos como hornos o calderas, pudiendo obtener a partir de un proceso independiente una generación de energía a partir de pérdidas térmicas del sistema, no obstante estos sistemas se encuentran presentes para alimentar circuitos auxiliares.



CAPÍTULO 3:

DISEÑO

3.1. Arquitectura general

El sistema de control de temperatura tiene cuatro bloques: sensor de temperatura, actuador térmico, acondicionamiento del sensor y control del actuador.

El bloque correspondiente al sensor de temperatura está basado en el funcionamiento y acondicionamiento de la sonda de temperatura Pt100, encargado de medir en cada instante la temperatura real en la carga y mediante la variación de su valor resistivo provocar la acción pertinente del control, modificando la corriente por el actuador como sea necesario.

El actuador térmico está compuesto por una célula de Peltier, encargada de bombear calor, y aquellos elementos que contribuirán a dicho bombeo y a la estabilidad del sistema, siendo éstos, el disipador aleteado en conjunto con un ventilador DC y las placas de aluminio en contacto con la carga y con el disipador.

Para poder medir la variación térmica en el medio a través del sensor, se ha implementado un circuito de acondicionamiento para obtener una tensión proporcional al valor de temperatura y que el control del actuador entre en el modo de trabajo requerido.

Cerrando la arquitectura del sistema, se encuentra la etapa de potencia del circuito que se encargará de suministrar la energía que necesite en cada instante el módulo de Peltier en el actuador térmico.

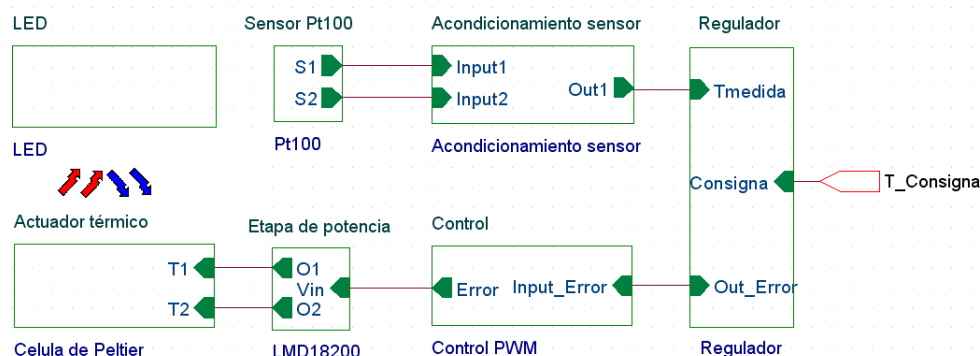


Figura 5

3.2. Sensor de temperatura

Para la medida de la temperatura se han utilizado sensores resistivos tipo Pt100. Este tipo de sensores ha resultado ser perfecto para la aplicación por varias razones fundamentales, la primera es su exactitud, pero también es importante su rapidez de respuesta, dando en cada instante una medida fiel de temperatura sensada.

Otra característica importante en la utilización de este tipo de sondas de temperatura, es su reducido tamaño y la facilidad de integrarlas en el sistema. También cabe destacar que debido a la fragilidad de sus terminales se ha optado por fijar un conector que aporta rigidez a la conexión.

Los detectores resistivos de temperatura como el Pt100 consisten en un hilo del conductor seleccionado (en el proyecto se ha utilizado platino), rodeado de material aislante y normalmente cubierto con un material cerámico o de vidrio para darle rigidez mecánica y buen contacto térmico con el elemento cuya temperatura se quiere medir.

A la hora de seleccionar la sonda de temperatura hay que prestar especial atención al material conductor utilizado. En la aplicación utilizada en el proyecto, el material más adecuado es el platino debido a su precisión y estabilidad, presentando como único inconveniente su coste, pero debido al



carácter de ensayo experimental del proyecto, este factor resulta despreciable en un montaje unitario.

No obstante, se han contemplado otras posibilidades, como son resistencias de níquel o por cobre. En el primer caso, níquel, se obtiene una mayor variación de resistencia por grado centígrado pero su escasa linealidad en la relación resistencia-temperatura y las variaciones que experimenta su coeficiente de resistencia según los lotes fabricados la eliminan para la aplicación de instrumentación de precisión requerida.

Por el contrario las sondas de temperatura compuestas por cobre son estables, lineales y baratas pero debido a su escasa resistividad, presenta variaciones muy pequeñas y con una exactitud mucho peor que la presentada por el platino.

Dichas características se resumen en la siguiente tabla*.

Metal	Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$	Coeficiente temp. $\Omega/\Omega, ^\circ\text{C}$	Intervalo útil de temp. $^\circ\text{C}$	\varnothing min. de hilo mm	Coste relativo	Exactitud $^\circ\text{C}$
Platino	9,83	0,00385	-200 a 950	0,05	Alto	0,01
Níquel	6,38	0,0063 a 0,0066	-150 a 300	>>	Medio	0,50
Cobre	1,56	0,00425	-200 a 120	>>	Bajo	0,10

*Características de sondas de resistencias. *"Instrumentación industrial"*, Antonio Creus.

Tabla 1

Si el comportamiento de la sonda es lineal se puede utilizar la siguiente expresión que relaciona los factores a intervenir:

$$R_t = R_{0^\circ} * (1 + \alpha t)$$



Donde:

$R_{0^{\circ}}$ = Resistencia en ohmios a 0 °C

R_t = Resistencia en ohmios a una temperatura t dada.

α = Coeficiente de temperatura de la resistencia, cuyo valor para un sensor tipo Pt100 entre 0 °C y 100 °C es de $0,003850 \Omega * \Omega^{-1} * ^{\circ}\text{C}^{-1}$ en la *Escala Práctica de Temperaturas Internacional* (**ITS-68).

Para la aplicación, el comportamiento de la sonda Pt100 tiene un comportamiento no lineal y por tanto no se puede utilizar la expresión anterior, para poder definir su comportamiento de forma analítica se tendría que recurrir a dos expresiones diferentes que dependerán del intervalo de temperatura en el que se realizan las medidas, de esta forma se tiene que:

-. Intervalo térmico de -200 °C a 0°C:

$$R_t = R_{0^{\circ}} * [1 + A * t + B * t^2 + C * (t - 100) * t^3]$$

-. Intervalo térmico de 0 °C a 850 °C:

$$R_t = R_{0^{\circ}} * (1 + A * t + B * t^2)$$

En la que:

$$A = 3,9083 \times 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \times 10^{-7} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \times 10^{-12} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-3}$$

Cotejando los valores de resistencia para temperaturas inferiores a 0 °C aproximados a partir del polinomio de segundo orden con las tablas normalizadas según la norma IEC751, se observa que el error en nuestro rango de medida no es mayor de 15 centésimas de grado, De esta forma se pueden simplificar todos los valores experimentales, calculando el valor de temperatura correspondiente con el polinomio de segundo orden sin tener en cuenta el término de tercer grado.



***ITS: La Escala Práctica Internacional de Temperaturas (ITS-68) se compone de una serie de puntos fijos medidos con un termómetro de gas de volumen constante y una colección de procedimientos para la interpolación entre los puntos fijos, de modo que a diferentes intervalos de temperatura podemos usar determinados tipos de termómetro y necesitamos calibrarlos correctamente.*

3.3. Actuador térmico

El actuador está compuesto por varios elementos, una célula de Peltier, dos placas conductoras de aluminio, utilizadas para facilitar la transmisión de calor, manteniendo una separación entre las zonas caliente y fría, un disipador de aluminio y un ventilador de corriente continua.

La célula de Peltier será la encargada de bombear calor según la necesidad, para ello será controlada mediante un control en bucle cerrado. Aprovechando su bidireccionalidad de comportamiento sin modificar el montaje del Peltier se variará la dirección de circulación de corriente y así poder trabajar en ambos modos (calentamiento o enfriamiento) sin modificar el hardware. Para ceñir el proyecto lo más posible a la norma existente sobre caracterización de dispositivos LED, experimentalmente se ha buscado mantener temperaturas superiores a la temperatura ambiente, aunque el sistema también permite alcanzar temperaturas inferiores a la temperatura ambiente. La terminología que se utilizará en este sentido será la de referir como cara caliente a aquella que esté bombeando calor hacia el exterior, ya sea a través del disipador o a través de la placa de aluminio que se encuentre en contacto con el elemento a controlar térmicamente, y con este mismo criterio, referir como cara fría del Peltier a aquella superficie que absorbe calor del exterior.

El montaje mecánico de la célula así como su manipulación en todo momento se ha llevado a cabo con extremada prudencia debido a su fragilidad mecánica. Es importante actuar de esta forma ya que a causa de una mala actuación en el montaje se pueden producir fracturas internas no detectables



en las superficies exteriores del Peltier, pero que sí provocan una merma notable en sus prestaciones.

Para poder fijar los distintos elementos entre sí, se contemplaron dos vías, una primera mediante un adhesivo con buena conductividad térmica y una segunda, que fue la finalmente adoptada, consistente en fijar los distintos elementos en un “sándwich” mediante una pieza de material plástico, lo que permite intercambiar el Peltier fácilmente.

Para aumentar la precisión del sistema se necesita que todo elemento que participe en la transmisión de calor tenga un impacto mínimo en el proceso, de esta forma se han seleccionado para la unión entre la célula de Peltier y el elemento a controlar térmicamente, así como el enlace del Peltier con el disipador, dos placas de aluminio, mecanizadas para tal propósito. El acondicionamiento térmico es tan importante como el propio acondicionamiento de señal, debido a que la simple proximidad del individuo al sistema hace variar la temperatura medida.

Aprovechando el elevado valor de conductividad térmica del aluminio, 209,3 W/(K·m), se ha utilizado para la transmisión de calor al exterior un disipador de aluminio laminado, que consta de 31 aletas, ayudado por un ventilador que forzará la expulsión de calor generado por la cara caliente del Peltier. De esta forma al bombear más calor fuera del sistema se podrán alcanzar temperaturas menores en la cara fría de la célula de Peltier y por tanto someter al elemento de estudio a temperaturas constantes de menor valor.

El disipador se ha escogido de un tamaño suficiente para poder funcionar con células de Peltier de diferentes capacidades térmicas.

Otra En el trabajo con células de Peltier, no se diseña el disipador para fijar una temperatura máxima de funcionamiento, tal y como se hace para componentes de potencia, sino para mantener la cara caliente de la célula de Peltier lo más cerca posible del ambiente.

Aunque no sea una especificación técnica rigurosa, para optimizar el funcionamiento del disipador es conveniente colocarlo en posición vertical para

favorecer la circulación de aire entre las láminas, produciéndose la convección natural no forzada.

Como se observa en la figura y fue comentado anteriormente, se ha acoplado un ventilador que forzará las corrientes de convección a través de sus aletas. Este ventilador será alimentado con corriente DC, permitiendo valores de hasta 15 Vcc para hacer girar el ventilador a régimen máximo, en la aplicación desarrollada, no será necesario tal régimen de trabajo por lo que se alimentará a una tensión continua de 12 V DC.

El hecho de haber elegido un disipador de 31 aletas es el aumentar la superficie de disipación reduciendo así su resistencia térmica y facilitando que la cara caliente del Peltier se mantenga próxima a la temperatura ambiente.

En la figura 6 se muestra la disposición de los distintos elementos descritos:

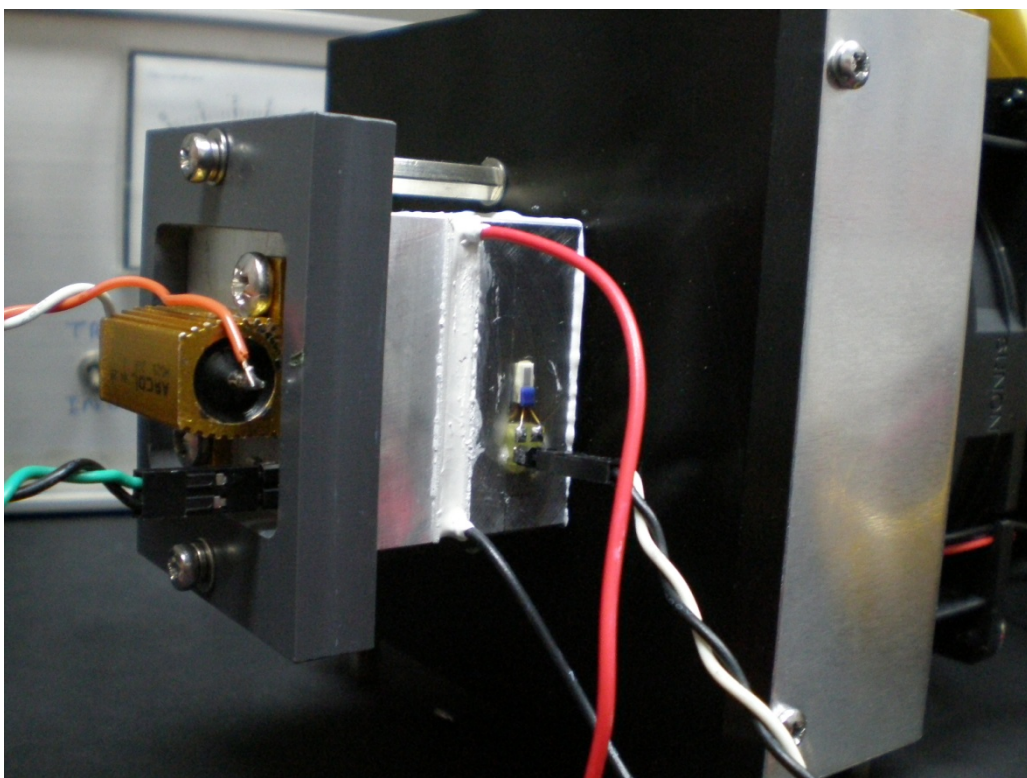


Figura 6



En la figura anterior también se observa que, en lugar del LED se ha montado una resistencia eléctrica de $P_{\max} = 25 \text{ W}$ que simulará la carga térmica de un diodo LED, permitiendo realizar las medidas experimentales de forma precisa, al conocer con exactitud la potencia que se está disipando en cada momento.

Gracias al anclaje por medio de la placa de aluminio, simplemente intercambiando la carga o en el caso de ser necesario, la placa de aluminio sujeta a otra carga, se puede extrapolar el comportamiento a otros elementos.

La fijación entre elementos mediante tornillos y taladros roscados además de aportar rigidez al sistema permite poder variar elementos del sistema sin modificar el planteamiento de conjunto del diseño.

3.4. Acondicionamiento del sensor

3.4.1. Diseño del acondicionamiento

A priori el acondicionamiento de la señal producida por la variación en la temperatura del sensor Pt100 debe ser lo más precisa posible y aprovechar en la medida de lo posible la sensibilidad del sensor. Para llevar a cabo este diseño se ha contemplado principalmente tres diseños, desde el más sencillo al más elaborado, todos ellos válidos dependiendo de la aplicación deseada, no obstante, claramente destaca el buen comportamiento de uno de los diseños para su aplicación concreta del proyecto.

Para observar el comportamiento a grandes rasgos de los distintos circuitos se han realizado las simulaciones mediante el software Psim en la que los elementos actúan como componentes ideales y no se contemplan factores externos que interfieran en la medida.

1ª Alternativa:

El primer circuito estudiado es el más simple, debido a que es configurar un amplificador operacional en configuración no inversora, utilizando como

realimentación la sonda de temperatura, Pt100, de esta forma se obtiene de forma inmediata la ganancia del sistema realimentado negativamente como:

$$V_o = V_r * \left(1 + \frac{R_{Pt100}}{R_{realim}}\right)$$

La gran ventaja de este sistema es su simplicidad de cálculo al contar con tan pocos elementos, facilitando así su calibración, no obstante queda inmediatamente descartado en la calibración del circuito, debido a que, para el rango de valores en que variará el valor resistivo de la Pt100 careceremos de sensibilidad en la medidaya que, aun valor de 0 °C, el fabricante nos asegura que la resistencia Pt100 tendrá un valor de 100 Ω y a 100 °C un valor de 138,51 Ω . Considerando este intervalo de medidas observamos lo inapropiado del sistema:

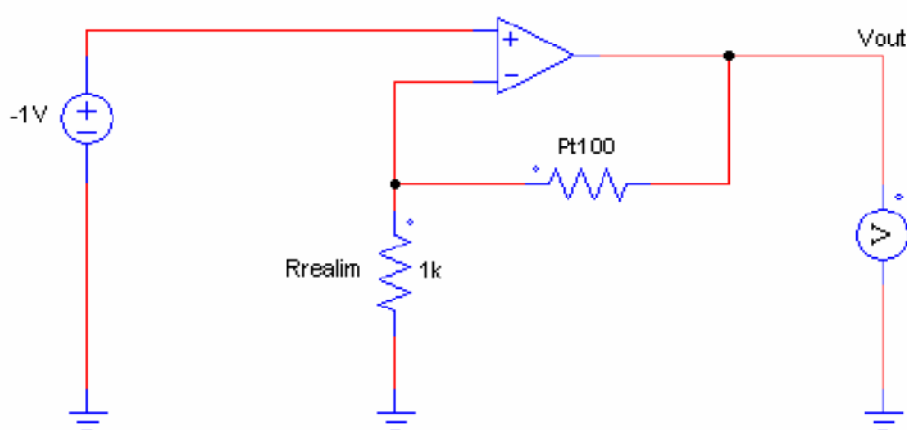
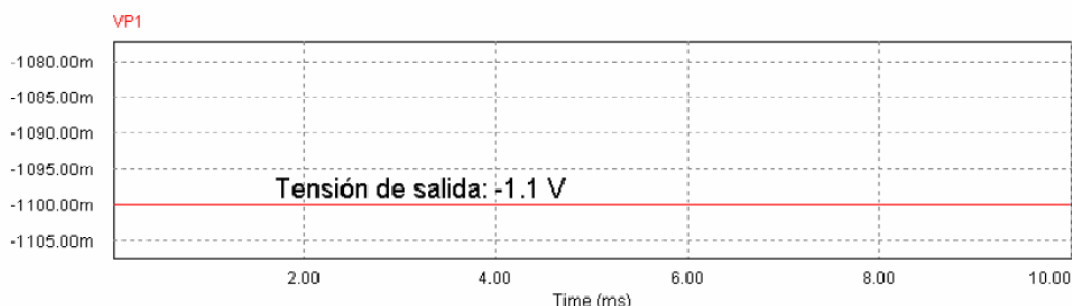


Figura 7

Simulaciones:

Pt100 = 100 ohmios



Pt100 = 138.51 ohmios

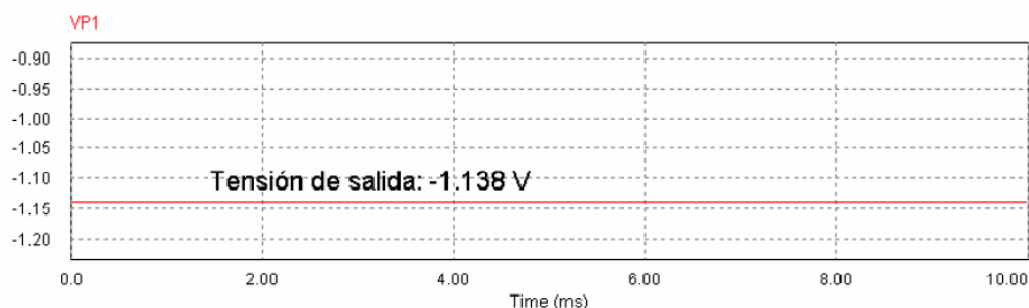


Figura 8

Como se explicó anteriormente se observa como la variación de tensión a la salida de ese circuito es muy pequeña, debido a los 100Ω que presenta la Pt100 a 0°C . Este sistema podría corregirse mediante una fuente de tensión auxiliar que eliminara el offset del sistema desde el punto inicial de $T = 0^\circ\text{C}$, pero esta opción se considera que introduciría más complejidad en el sistema y por tanto se decidió descartarlo para el acondicionamiento de la señal.

2ª Alternativa:

Para corregir la presencia de tensión en el valor mínimo del rango de temperaturas considerado, se estudió un diseño auto-compensado, capaz de eliminar el offset en la salida para $T = 0^\circ\text{C}$. Una vez solucionado el problema del circuito anterior, se estudia la posibilidad de calibración del sistema, siendo este punto es especialmente delicado en el siguiente circuito, debido a que

varios de sus elementos afectan simultáneamente al ajuste de cero y al de ganancia.

Quedando resuelto el cálculo de la función de transferencia del circuito de la siguiente forma:

$$V_o = V_r * \left[\left(\frac{-R_{Pt100}}{R_a} \right) + \frac{\left(\frac{R_{realim}}{R_b + R_{realim}} \right)}{\left(1 + \frac{R_{Pt100}}{R_a + R_{Pt100}} \right)} \right]$$

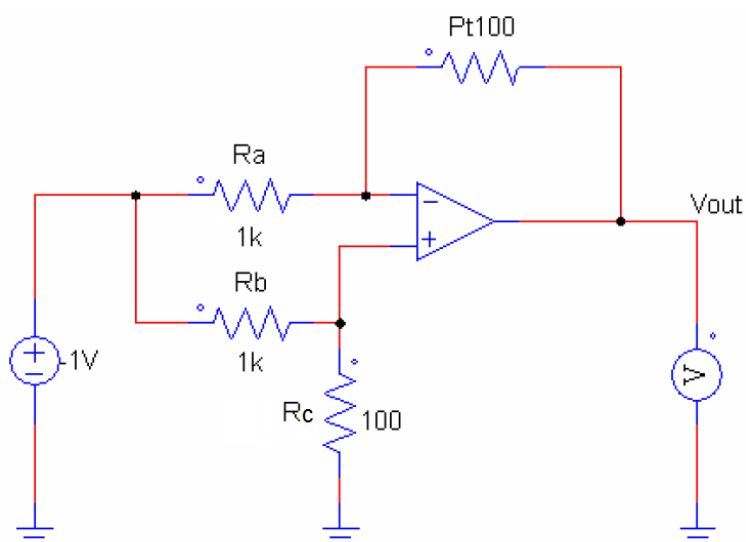
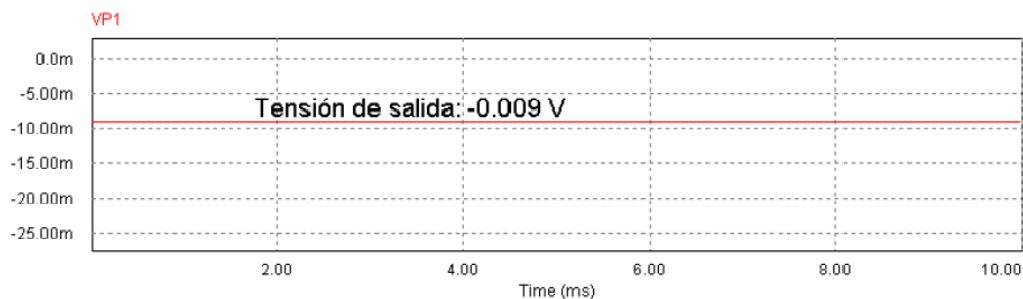


Figura 9



Simulaciones:

Pt100 = 100 ohmios



Pt100 = 138.51 ohmios

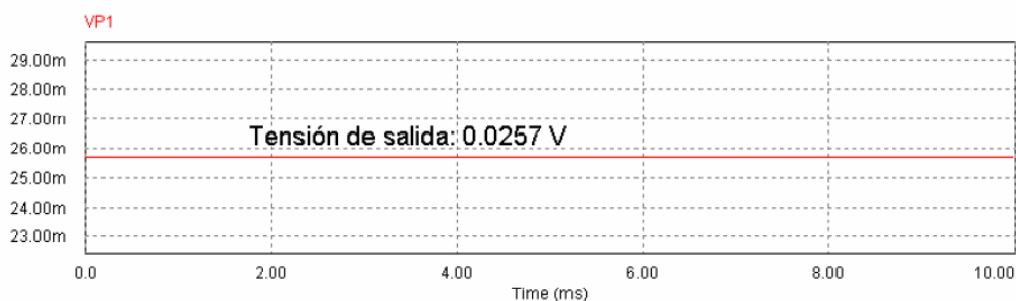


Figura 10

Como se observa en las simulaciones, el problema del nivel no nulo de tensión a la salida para $T=0$ °C queda resuelto con este circuito, pero la variación total de tensión a la salida sigue siendo demasiado pequeña.

3ª Alternativa:

El último diseño utiliza dos circuitos de medida simétricos, tomando la salida en modo diferencial entre ambos, de modo que, escogiendo adecuadamente el valor de R_{realim} , se puede hacer que la salida valga 0 V para cualquier temperatura. Por ejemplo, si para $T=0$ °C $Pt100 = 100 \Omega$, basta con hacer $R_{realim} = 100 \Omega$ para que la tensión de salida sea de 0 V a esta temperatura.

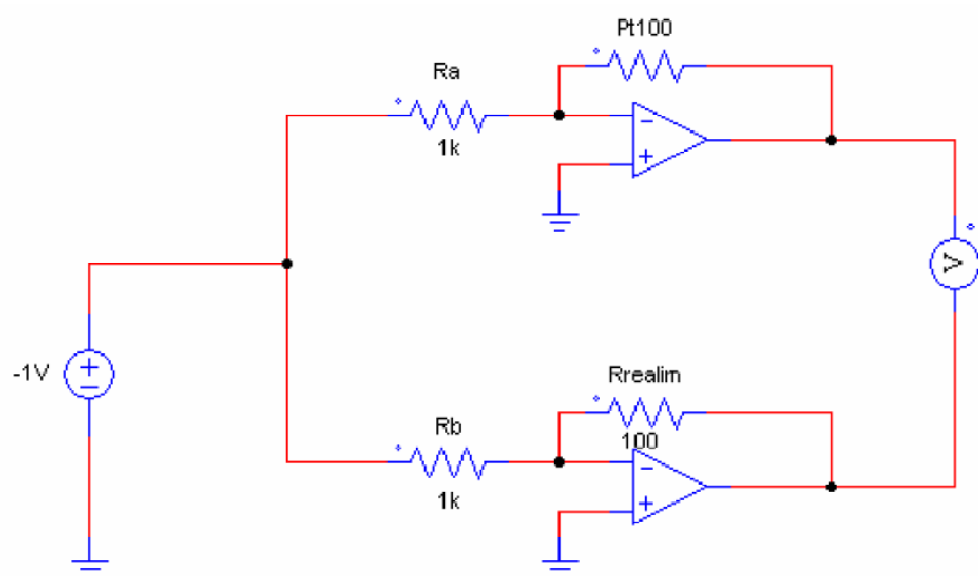


Figura 11

Función de transferencia:

$$V_o = V_1 - V_2$$

$$V_1 = -1 * \left(-\frac{R_{Pt100}}{R_a} \right)$$

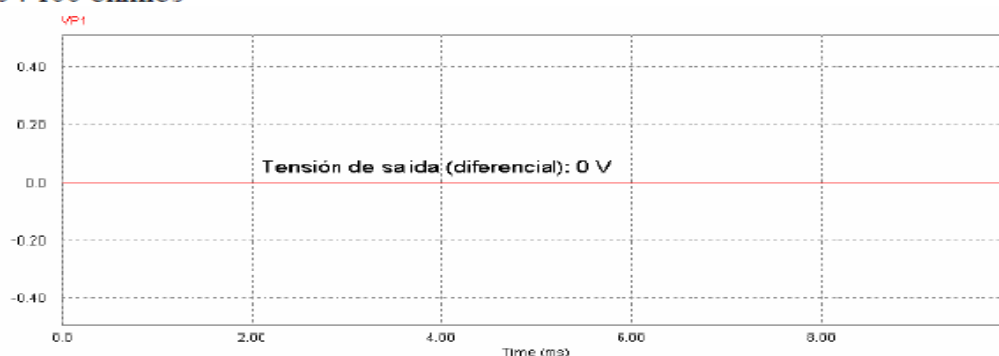
$$V_2 = -1 * \left(-\frac{R_{realim}}{R_b} \right)$$

$$V_o = \left(\frac{R_{Pt100}}{R_a} - \frac{R_{realim}}{R_b} \right)$$



Simulaciones:

Pt100 : 100 ohmios



Pt100: 138.51 ohmios

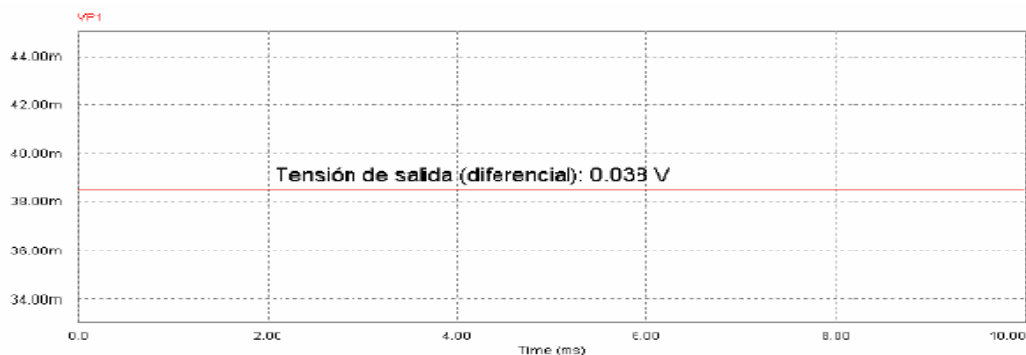


Figura 12

En este caso se observa como idealmente la tensión en el punto de calibración inicial es igual a 0 V, aprovechando al máximo la sensibilidad del transductor, y la medida diferencial a la salida permite medir siempre frente a una referencia, de esta forma si en un momento determinado fuese necesario la variación del rango de medida, con la sustitución de un único elemento se podría modelar este parámetro.

3.4.2. Acondicionamiento de la señal

Una vez decidido el circuito final de acondicionamiento para el sensor de temperatura, se procedió al diseño detallado del sistema que se muestra en la

figura 13 la tensión diferencial a la salida del circuito de acondicionamiento descrito anteriormente, se amplifica en el amplificador de instrumentación U2, hasta conseguir un nivel de variación de 0 a 4 V para temperaturas entre 0 y 100 ° C.

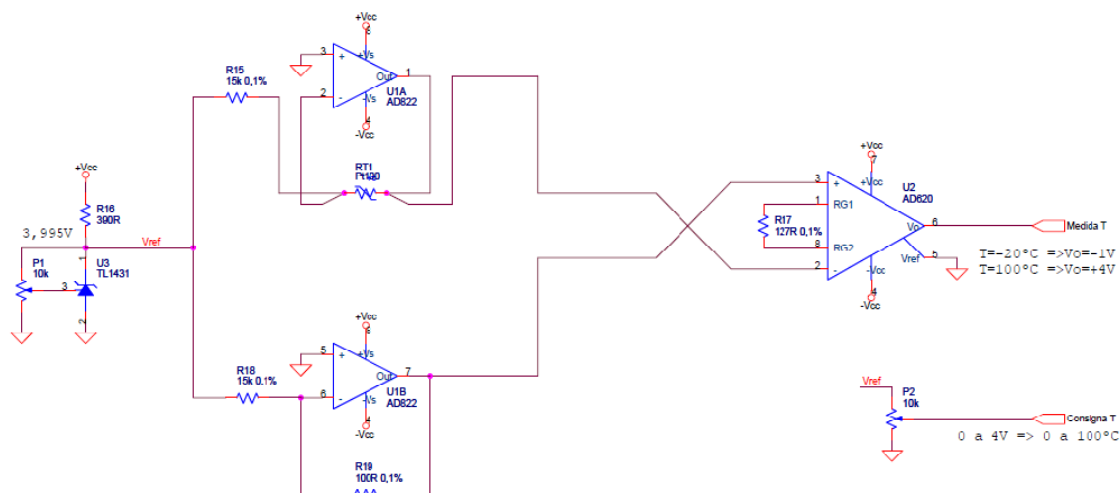


Figura 13

La conexión del sensor Pt100 se ha hecho a 4 hilos, para eliminar posibles errores de medida debidos a la caída de tensión en los hilos de conexión.

La función de transferencia del circuito se calcula mediante superposición, obteniendo el siguiente resultado:

$$V_o = V_{ref} * \left(\frac{-R_{T1}}{R_{15}} + \frac{R_{19}}{R_{18}} \right) * G$$

Donde Vref será la tensión de referencia que se ajusta mediante el potenciómetro P1 a 3.995 V.

Para obtener el error cometido a la salida del acondicionamiento de la señal se debe calcular la aportación de cada uno de los elementos, para lo que se toman derivadas parciales respecto a dichos elementos:

$$\Delta V_o = \frac{\partial V_o}{\partial V_r} * \Delta V_r + \frac{\partial V_o}{\partial R_{15}} * \Delta R_{15} + \frac{\partial V_o}{\partial R_{18}} * \Delta R_{18} + \frac{\partial V_o}{\partial R_{T1}} * \Delta R_{T1} + \frac{\partial V_o}{\partial R_{19}} * \Delta R_{19} + \frac{\partial V_o}{\partial G} * \Delta G$$



Desarrollando la expresión se obtiene que:

$$\frac{\partial V_o}{\partial V_r} * \Delta V_r = \left(\frac{-R_{T1}}{R_{15}} + \frac{R_{19}}{R_{18}} \right) * G * \Delta V_r$$

$$\frac{\partial V_o}{\partial R_{15}} * \Delta R_{15} = \left(\frac{R_{T1}}{R_{15}^2} \right) * V_r * G * \Delta R_{15}$$

$$\frac{\partial V_o}{\partial R_{18}} * \Delta R_{18} = \left(\frac{R_{T1}}{R_{18}^2} \right) * V_r * G * \Delta R_{18}$$

$$\frac{\partial V_o}{\partial R_{T1}} * \Delta R_{T1} = \left(\frac{-R_{15}}{R_{15}^2} \right) * V_r * G * \Delta R_{T1}$$

$$\frac{\partial V_o}{\partial R_{19}} * \Delta R_{19} = \left(\frac{-R_{18}}{R_{18}^2} \right) * V_r * G * \Delta R_{19}$$

$$\frac{\partial V_o}{\partial G} * \Delta G = \left(\frac{-R_{T1}}{R_{15}} + \frac{R_{19}}{R_{18}} \right) * V_r * \Delta G$$

Ha simple vista se puede observar como ninguno de los términos anteriores será de consideración en el valor final del error cometido, no obstante el error cometido por las tensiones y corrientes de offset presentes en las entradas de los amplificadores si será destacable.

Por tanto ha de calcularse el error cometido debido a las corrientes y tensiones de offset en la entrada de cada amplificador operacional así como del amplificador de instrumentación, siendo así:

Amplificador operacional, U1A:

- Tensión de entrada, (V_{io}):

$$V_{io} = -G * V_{io} * \left(\frac{R_{T1}}{R_{15}} \right) = -389.98 * 0.8 * 10^{-3} * \left(\frac{138.51}{15 * 10^3} \right)$$

$$|V_{io}| = 2.9 \text{ mV}$$

- Corriente de entrada:

$$I_b = -G * I_b * R_{T1} = -389.98 * 20 * 10^{-12} * 138.51$$



$$|Ib| = 1.08 \mu V$$

Amplificador operacional, U1B:

- Tensión de entrada, (Vio):

$$Vio = -G * Vio * \left(\frac{R_{19}}{R_{18}} \right) = -389.98 * 0.8 * 10^{-3} * \left(\frac{100}{15 * 10^3} \right)$$

$$|Vio| = 2.08 mV$$

- Corriente de entrada:

$$Ib = -G * Ib * R_{19} = -389.98 * 200 * 10^{-12} * 100$$

$$|Ib| = 0.78 \mu V$$

Amplificador de instrumentación, U2:

Este amplificador no tiene componente de error debido a las corrientes de polarización ya que ambas entradas se encuentran conectadas a las salidas de los amplificadores operacionales anteriores.

$$Vio = G * Vio = 389.98 * 125 * 10^{-6}$$

$$|Vio| = 48.7 mV$$

Una vez obtenidos todos los errores han de sumarse en valor absoluto debido a que hay que posicionarse en el peor caso.

$$V_{total} = 2.9 mV + 1.08 * 10^{-3} mV + 2.08 mV + 0.78 * 10^{-3} mV + 48.7 mV = 53.68 mV$$

Para traducir esta magnitud en temperatura sólo ha de dividirse por la sensibilidad de 40 mV/°C.

$Vio_{total} = 53.68 mV = 1.34 ^\circ C$ de variación máxima en las peores circunstancias, no obstante, es fácilmente identificable el componente a sustituir en busca de mayor precisión, el AD620, dado que es el elemento que más error aporta a la medida final.

3.5. Control del actuador

El control del actuador es un sistema en bucle cerrado, de forma que el sistema trate de anular el error entre la temperatura de consigna y la temperatura medida. De este lazo quedan dos etapas por describir, generador de PWM y etapa de potencia.

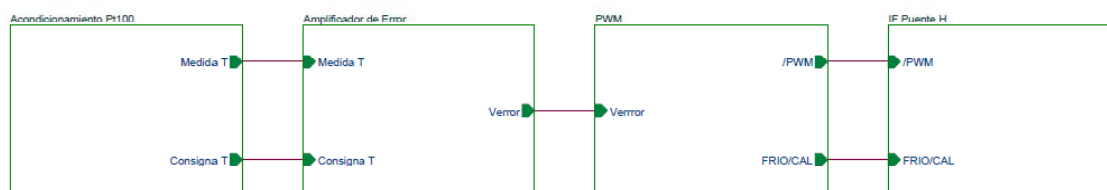


Figura 14

La primera etapa de control del sistema será la encargada de generar una señal PWM (Pulse Width Modulation), que controlará la etapa de potencia. Para generar dicha señal se ha empleado el integrado LM3524D, que es un integrado de aplicación específica para generar señales PWM.

La forma de implementar internamente el circuito modulador PWM es a partir de un oscilador interno y una señal de error, procedente del amplificador de error descrito con anterioridad.

Además de esta función también ha sido de utilidad la posibilidad de obtener de uno de sus pines una tensión continua de 5 V que ahorrará disponer de una entrada adicional de alimentación al circuito.

La gran ventaja de este dispositivo frente a otros dispositivos del mismo índole es la capacidad de ser alimentado con tensiones de hasta 40 V, permitiendo de esta forma ser alimentado con la misma pista de alimentación que el circuito de potencia, de esta forma se simplifica la alimentación del sistema en conjunto.

La segunda etapa será la encargada de suministrar la potencia al sistema, generando la corriente suficiente para alimentar la célula de Peltier. Para implementar esta etapa se ha empleado el integrado LMD18200 que,

como se detalla a continuación en la figura 15, consta internamente de un puente en H implementado en la tecnología MOSFET, necesario para controlar la corriente suministrada al Peltier en módulo y sentido.

El sentido de la corriente por el Peltier se controla mediante un comparador que detecta los cruces por cero de la señal de error y cuya salida se conecta directamente a los pines de dirección de los integrados LMD18200.

Como se ha mencionado, una de las grandes ventajas que presenta la utilización de estos dispositivos es la permisividad de ambos a ser alimentados en tensiones superiores a las empleadas en el funcionamiento del Peltier, este factor permite la utilización de una única fuente de tensión y simplifica el funcionamiento experimental del prototipo.

Ambos elementos están destinados al control de motores de corriente continua, por lo que su funcionamiento está muy orientado al control por PWM de una tensión continua a la salida, de esta forma el LM3524D tiene unas características de control que permiten, mediante la entrada de una tensión de error que se busca compensar, generar una señal modulada en ancho de pulso para activar un circuito de potencia compuesto por transistores MOSFET.

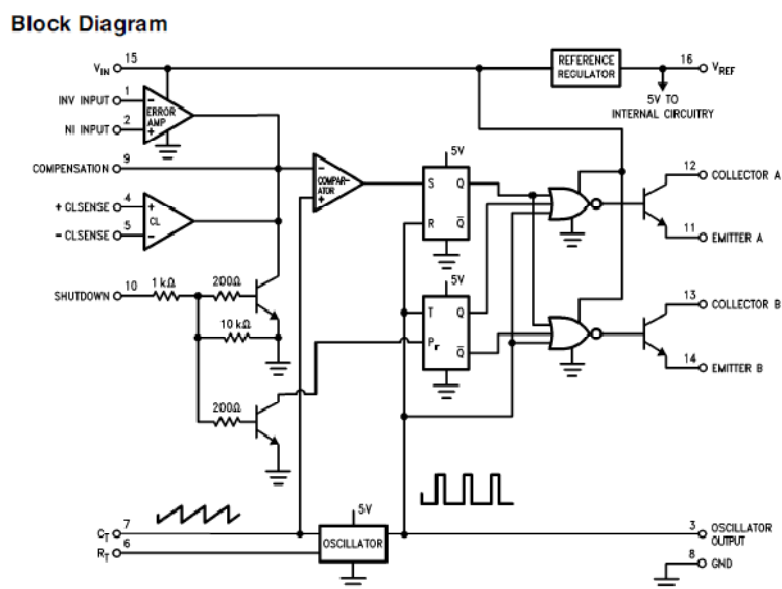


Figura 15

Aprovechando esta salida PWM del integrado, se ha decidido utilizar el dispositivo LMD18200 ya que una vez modulada la señal de control, este

elemento contiene la lógica necesaria para administrar la potencia aplicada a la carga, gestionando el disparo de los transistores MOSFET y controlando factores como el tiempo muerto en el disparo. Aprovechando dicha lógica, también se controlará la dirección de circulación de corriente mediante una entrada con dos estados posibles que direccionará el puente en H para habilitar esta funcionalidad. Esta característica permite aprovechar el potencial de la célula de Peltier sin realizar modificaciones hardware en los ensayos realizados, aumentando también de forma significativa la vida útil del sistema.

Functional Diagram

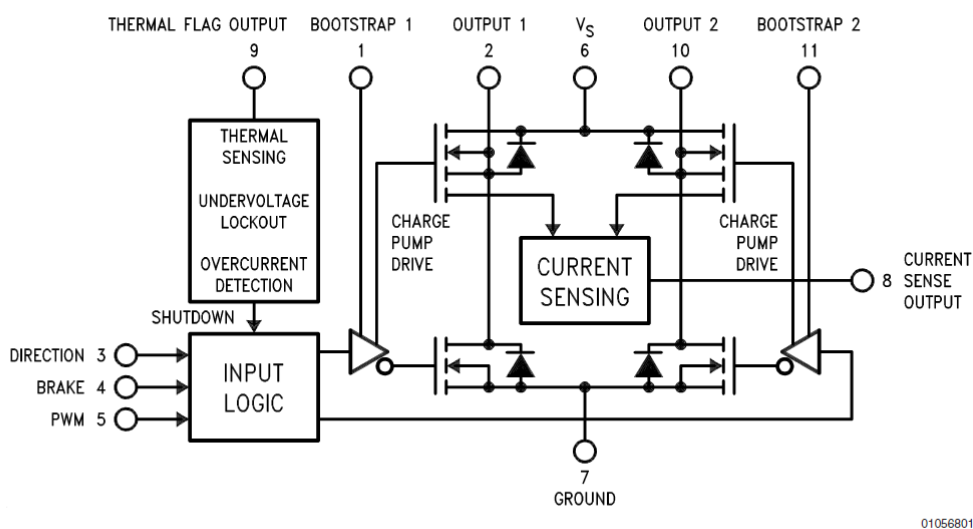


FIGURE 1. Functional Block Diagram of LMD18200

Figura 16

En el diagrama funcional de bloques de la figura 17 V_s es la tensión de alimentación que tendrá que tener el valor máximo que se quiera obtener a la salida en función del ciclo de trabajo y OUTPUT 1 y OUTPUT 2 son las salidas del dispositivo conectadas a la célula de Peltier.

El comportamiento del módulo de potencia queda reflejado claramente en el siguiente gráfico aportado por el fabricante:

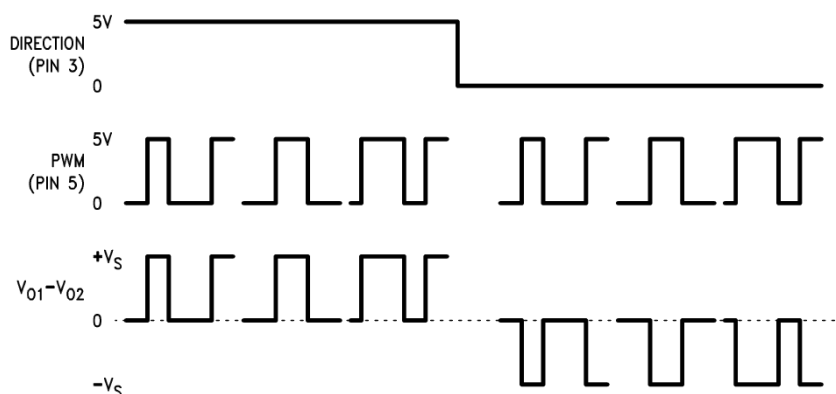


Figura 17

Las características técnicas del dispositivo LMD18200 indican una capacidad máxima de 3 A, para poder aumentar dicha corriente de circulación en caso de ser necesario, una posible solución es la aplicación de varios dispositivos trabajando en una configuración paralela, de forma que la corriente máxima aportada a la célula de Peltier sería de 3 A por dispositivo.

Para ello no hay más que configurar en paralelo los dispositivos de potencia de tal forma que la circulación de corriente sea proporcional al número de dispositivos LMD18200 conectados. Dado que el fabricante del componente no proporciona una hoja de aplicación en la que se ejecute un diseño con tal propósito, fue necesaria la implementación en un prototipo de dicha configuración paralela de los dispositivos. Una vez demostrada la viabilidad de la configuración se procedió a la elaboración de un diseño eficiente para llevar a cabo el proyecto. Tras el estudio de distintas implementaciones se determinó que la forma más eficiente a la vez que flexible de diseñar el circuito impreso, era elaborar un módulo de potencia separado con seis dispositivos LMD18200 conectados en paralelo. Dependiendo de la potencia que se requiera se podrán conectar más o menos módulos a la carga.

Se han utilizado los seis inversores de un 74HC04 para invertir la señal PWM procedente del LM3524D antes de aplicarla al módulo de potencia.

La necesidad de utilizar un inversor se remite a acotar el funcionamiento del dispositivo, dado que la señal PWM generada por el integrado LM3524D es

capaz de alcanzar el 100% del ciclo de trabajo mientras que no es capaz de descender al 0%, de esta forma no sería posible detener el actuador con las consecuentes repercusiones, sin embargo, mediante el integrado 74HC04 obtenemos el ciclo de trabajo desde el 0% en adelante.

Como se puede observar en el gráfico del integrado LMD18200 dispone de una entrada nombrada como Brake que no será utilizada, pero que muestra la orientación del dispositivo a ser empleado en controles de motores de corriente continua, pudiendo controlar el frenado del dispositivo.

Dichas entradas no utilizadas en el funcionamiento desarrollado deben estar conectadas en todo momento al punto de masa del circuito, de modo que no puedan activarse accidentalmente.

Además del puente en H y su control, el integrado LMD18200 incorpora mecanismos de protección frente a sobreintensidades y temperaturas excesivas de modo que el dispositivo se desactiva para corrientes superiores a 10 A o cuándo alcanza una temperatura de 175 ° C.

Finalmente para obtener la diferencia entre el valor de temperatura y el de la consigna se ha implementado un amplificador diferencial como el mostrado en la figura 18.

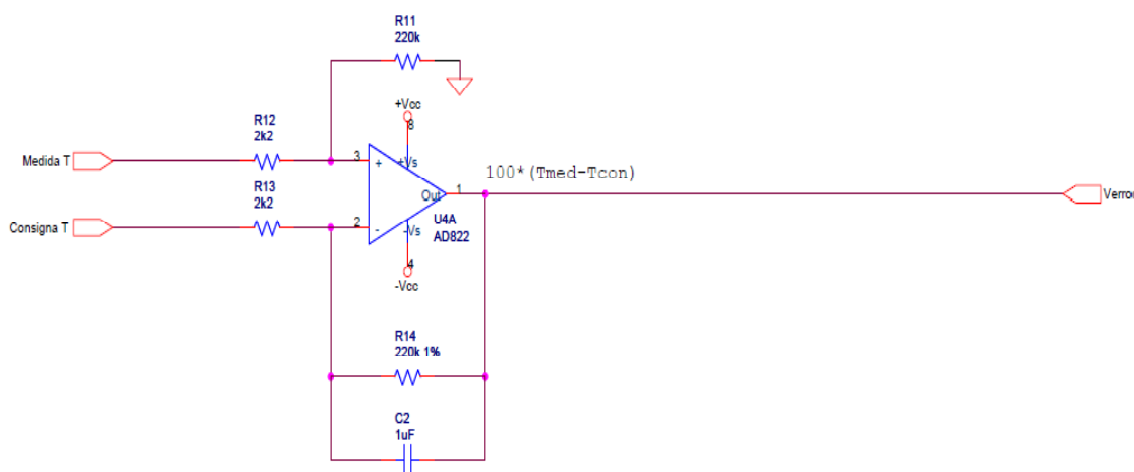


Figura 18



La ganancia de este amplificador de error $\left(\frac{R_{14}}{R_{13}}\right)$ y su frecuencia de corte $\left(\frac{1}{2\pi R_{14}C_2}\right)$ se han ajustado experimentalmente para optimizar el error (máxima ganancia) y la estabilidad del sistema de control completo.

3.5.1. Consideraciones para la etapa de potencia

A la hora de diseñar la etapa de potencia del sistema es primordial tener en consideración ciertas reglas y especificaciones de diseño, debido a que en dicha etapa se va a concentrar la mayor parte de la energía total del circuito.

Estas consideraciones son aquellas correspondientes al dimensionamiento de parámetros tales como potencia disipada en forma de calor por los elementos electrónicos del sistema o la dimensión necesaria de las pistas por las que circulará la corriente correspondiente al ciclo máximo de trabajo.

Es importante dimensionar estos parámetros de forma que nunca sean los limitantes en el funcionamiento, ya que el mal funcionamiento de alguno de ellos provocaría la rotura de algún elemento y por tanto ocasionaría una avería grave del sistema.

Los dispositivos electrónicos que se verán más afectados por la potencia a disipar serán los integrados de potencia LMD18200 por los que circulará la máxima corriente del circuito. Dado que el dimensionamiento de funcionamiento del circuito está hecho para una corriente máxima de 15 amperios, tenemos que:

$$\frac{15A}{6 \text{ integrados}} = 2,5 A/\text{Integrado}$$

Observando la configuración interna del componente se deduce que en función del “bit” de dirección del integrado, siempre conducirán una pareja de



transistores, calculándose así la potencia máxima consumida por el integrado de la siguiente forma:

$$P_{max} = 2 * (R_{ds} * I_{max}^2)$$

Donde R_{ds} es la resistencia interna de cada transistor MOSFET obtenida del datasheet del integrado y la corriente máxima (I_{max}) será la calculada anteriormente por integrado.

$$R_{ds} = 0,6 \, \Omega$$

$$I_{max}^2 = 6,25 \, A^2$$

Por tanto se tiene que:

$$P_{max} = 2 * (0,6 \, \Omega * 2,5^2 \, A)$$

$$P_{max} = 7,5 \, W$$

Una vez obtenidos dichos valores se procede con el cálculo para el disipador necesario para disipar la potencia calórica generada.

Para dicho cálculo se utiliza la ecuación siguiente:

$$T_j = T_a + P_D * (R_{jc} + R_{cd} + R_{da})$$

Donde las expresiones corresponden a:

T_j : Temperatura máxima de funcionamiento en la unión (el chip del circuito integrado).

T_a : Temperatura ambiente.

P_D : Potencia disipada.

R_{jc} : Resistencia térmica entre la unión y el encapsulado.

R_{cd} : Resistencia térmica entre el encapsulado y el disipador.

R_{da} : Resistencia térmica entre el disipador y el ambiente.

De esta forma mediante las características técnicas del dispositivo y los cálculos de potencia máxima disipada, realizados anteriormente ha de despejarse el valor de R_{da} que determinará el disipador a emplear:

$$R_{da} = \left(\frac{T_j - T_a}{P_D} \right) - R_{jc} - R_{cd}$$

Sabiendo que:

$$T_{jmax} = 125 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_a = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_D = 7,5 \text{ W}$$

$$R_{jc} = 1 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

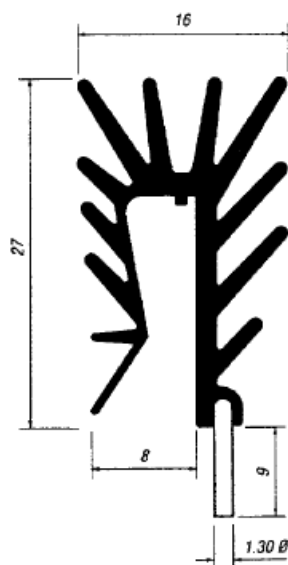
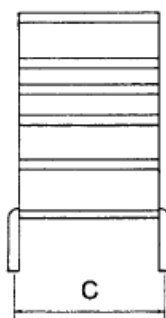
$$R_{cd} = 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

Por tanto, operando se obtienen los siguientes valores:

$$R_{da} = \left(\frac{125 \text{ }^{\circ}\text{C} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}}{7,5 \text{ W}} \right) - 1 \text{ }^{\circ}\text{C/W} - 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{da} = 11,8 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

Una vez obtenido este valor, recurrimos al fabricante para obtener el disipador normalizado que más se ajuste a dicho parámetro. De esta forma se selecciona el siguiente dispositivo:



Length mm L	Part Number Without Pins	Part Number With Pins	Pin Centres 'C'	Thermal Rating $^{\circ}\text{C/W}$
20	PPC20	PPC20P	21	11.00
35	PPC35	PPC35P	36	9.00
50	PPC50	PPC50P	36	7.2

**Por motivos de distribución de los elementos se ha considerado finalmente el empleo del disipador PPC35 con una resistencia térmica de $9\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ y por tanto suficiente para mantener la temperatura de los integrados por debajo de $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ a plena carga.*

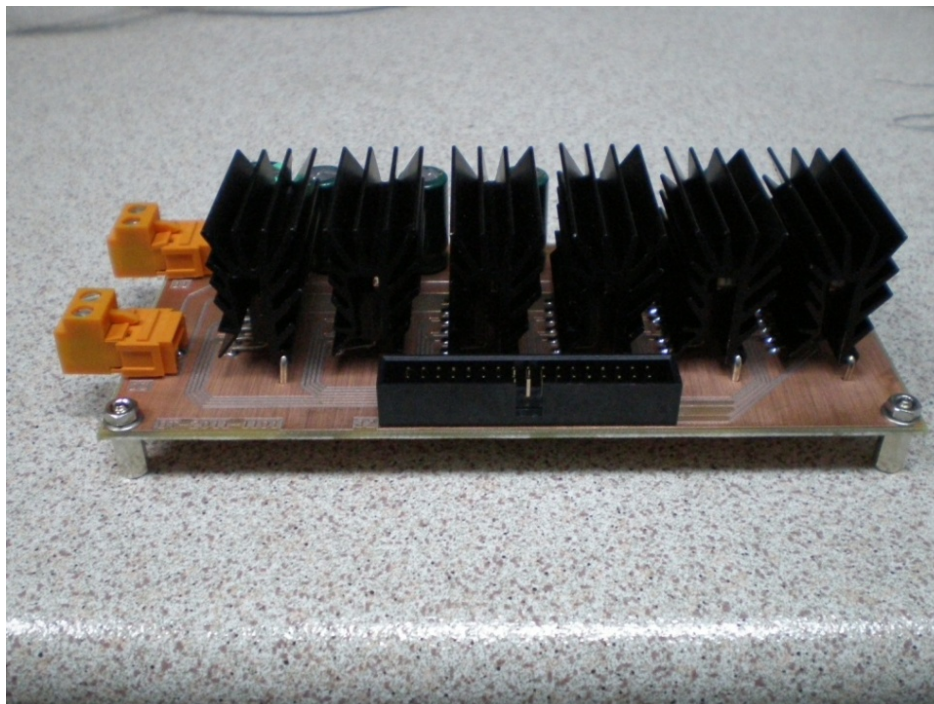


Figura 19

Otra consideración a tener en cuenta es el dimensionamiento de las pistas por las que circulará la corriente máxima aportada al actuador, ya que si el factor dimensional no se encuentra en el orden adecuado se provocaría un sobrecalentamiento de las pistas conductoras y por tanto de las soldaduras de los componentes, pudiendo llegar a fundirse el estaño de las soldaduras y perder la conexión eléctrica del componente. En un caso extremo, incluso puede deteriorarse el sustrato aislante de la placa. Para llevar a cabo dicho dimensionamiento acorde a una norma existente se ha empleado la información de la norma MIL-STD 275 recogida en la tabla 2:

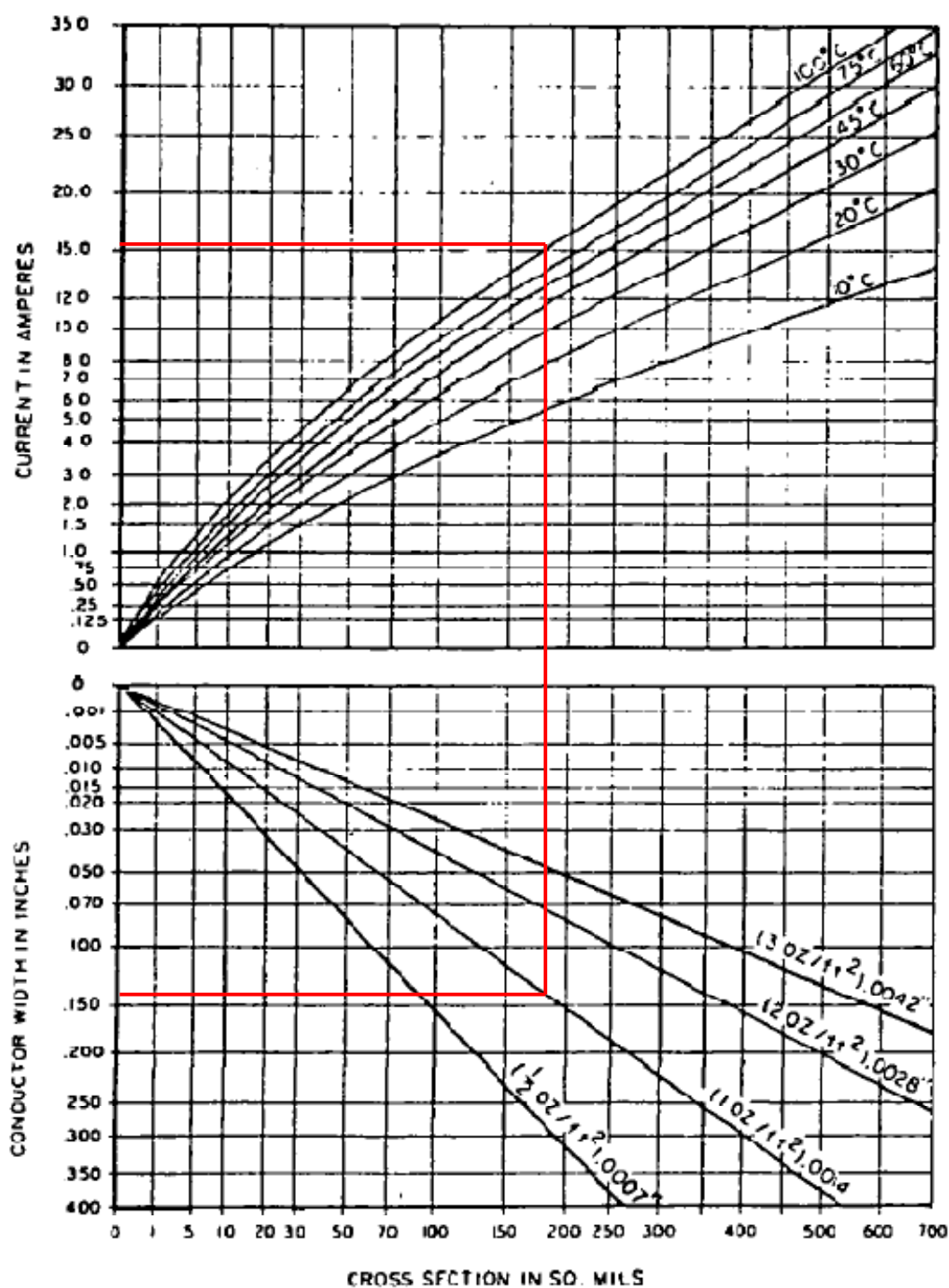


Tabla 2

De esta forma se dimensionan las pistas en función de la corriente circulante por cada una de ellas. Así se puede determinar para las condiciones



más severas de funcionamiento la anchura mínima de la pista para asegurar que no se producirán daños en esta.

Para las pistas de alimentación se determina el caso de máxima corriente circulante que serían 15 A. Aceptando un incremento en la temperatura de las pistas de 100 °C. Seleccionando el cobre utilizado como conductor el estándar (1 OZ/ft², correspondiente a 35µm de espesor), se obtiene que las pistas deben tener una anchura de 0.125 pulgadas aproximadamente, aplicando un margen de seguridad se han diseñado las pistas de alimentación con una anchura de 150 milésimas de pulgada.

Por último queda dimensionar aquellos componentes discretos que completarán el sistema cumpliendo con su cometido.

De esta manera se ha de determinar que potencia consumirán aquellos componentes susceptibles de ser dañados por el consumo de potencia, de esta forma se han determinado los siguientes elementos:

Las resistencias situadas en la alimentación del integrado LMD18200, en el punto de toma de masa (Gnd), tienen un valor 0,1 Ω y por ellas circulará según lo calculado anteriormente 2,5 A, por tanto:

$$P_{R(Vs)} = P_{R(Gnd)} = 2,5^2 \text{ Amp} * 0.1 \Omega$$

$$P_{R(Vs)} = P_{R(Gnd)} = 0,625 \text{ W}$$

Por tanto, sobredimensionando la potencia nominal, se obtiene que la potencia nominal de la resistencia debería ser 1 W, no obstante, para prever modificaciones en el valor de este componente, se ha adoptado un encapsulado capaz de disipar 3 W.

Otra resistencia contemplada desde el plano discreto es la correspondiente a la medición de corriente circulante por el integrado LMD18200. Para evaluar dicha resistencia hay que tener en cuenta dos factores, tanto su valor como su potencia.



Para determinar su valor hay que remitirse al fabricante que estipula que en dicho pin se encuentra el resultado de una fuente de corriente que sacará un valor proporcional a la corriente que circula por el integrado ($377 \mu A/A$) y que el valor de tensión en este punto no debe ser nunca mayor a 5 V.

Con el fin de buscar un valor de fácil conversión así como aplicar un margen de seguridad, se ha dimensionado la resistencia para un factor de conversión de 1V/A con lo que la tensión no será superior a 2,5 V.

Fijados estos parámetros se procede a dimensionar el valor de la resistencia para la mayor corriente posible que puede proporcionar el integrado, 3 A, y no los 2,5 A a los que trabajará como máximo régimen, de esta forma, este pin podría utilizarse en un futuro como detector de sobrecorrientes por el integrado.

Con estos valores se tienen el siguiente cálculo:

$$R_{sense} = \frac{V_{max}}{I_{max}}$$
$$R_{sense} = \frac{3 V}{3 A * 377 \mu A/A}$$
$$R_{sense} = 2,65 K\Omega$$

Una vez establecido el valor resistivo del elemento se procede a evaluar la potencia que debe disipar.

$$P_{max} = V_{max} * I_{max}$$
$$P_{max} = 3 V * 1,131 mA$$
$$P_{max} = 3,393 mW$$

Dado que el valor comercial más próximo sin incurrir en elevados gastos es de 50 mW se ha concluido que era mejor emplear un componente de mayor valor y así resultar más sencillo su suministro a la vez que más económico.

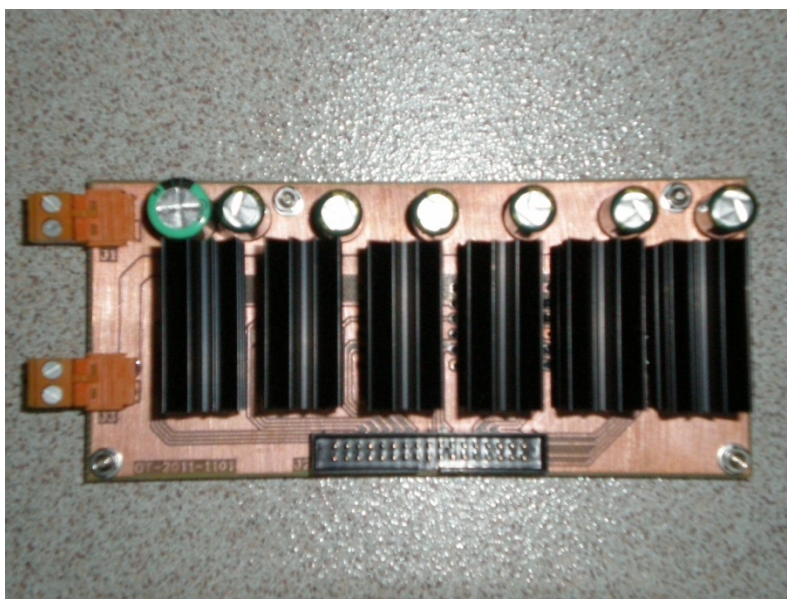


Figura 20



Figura 21

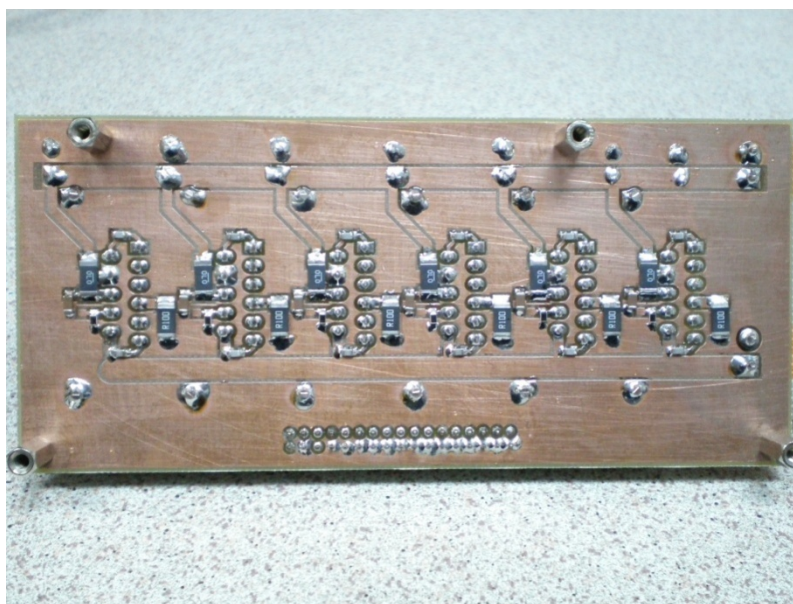


Figura 22



Figura 23



CAPÍTULO 4:

MEDIDAS EXPERIMENTALES

4.1. Caracterización del Actuador Térmico

La calibración experimental del actuador térmico se basará en reflejar el comportamiento del dispositivo en distintas condiciones de funcionamiento, de esta forma, y con ayuda de las especificaciones dadas por el fabricante se podrá determinar con exactitud cómo se comportará el dispositivo en unas condiciones concretas en un periodo de tiempo dado, para ello se caracterizará la célula de Peltier, en concreto en sus dos modos de funcionamiento en la aplicación, cuando enfría el dispositivo y cuando eleva su temperatura de trabajo.

Las medidas se han tomado emulando el LED bajo ensayo (esto es, la carga térmica) mediante una resistencia, a la que se le aplica una potencia eléctrica determinada (correspondiente a la potencia eléctrica disipada por el LED en un ensayo real). Para cada valor de potencia eléctrica disipada en la carga térmica, se mide el rango de temperaturas que se puede alcanzar variando la alimentación de la célula de Peltier.

Una de las observaciones realizadas ha sido la no simetría de comportamiento para la célula de Peltier, como era de esperar, el aporte energético que ha de realizarse para provocar un enfriamiento en la cara en contacto con el dispositivo sometido a estudio es mucho mayor que cuando el propósito es elevar la temperatura ambiente, de esta manera y ciñendo el experimento a la normativa vigente de condiciones térmicas, se ha acotado en gran medida la corriente máxima necesaria para reproducir las condiciones experimentales adecuadas, nunca perdiendo la perspectiva de que en el futuro dichas condiciones puedan variar y con ellas habría que realizar una nueva calibración del sistema y sus componentes.



Para poder realizar un estudio más extenso del sistema desarrollado, se ha considerado oportuno realizar las medidas experimentales con dos células de Peltier de diferente potencia, de esta forma, se puede determinar la rentabilidad a nivel energético de consumir cierta potencia para alcanzar unos resultados térmicos.

Un factor a tener en cuenta a la hora de realizar las medidas experimentales ha sido el efecto de congelación sufrido en la carga al alcanzar temperaturas inferiores a los 0 °C. Este fenómeno tiene dos efectos adversos para el sistema, el primero es el problema de generar fluido a consecuencia de la descongelación del hielo formado en la carga, en un futuro, si el sistema se integra en un conjunto de instrumentación hay que considerar este efecto a la hora de realizar el montaje eléctrico, habilitando un conducto para drenar este fluido. El otro efecto es el comportamiento como aislante térmico del hielo, esta consecuencia provoca un comportamiento más lento de la carga frente a cambios térmicos, ralentizando las medidas, no obstante, para comprobar la fiabilidad de la medida se repitieron las medidas de temperatura partiendo desde el punto más frío y desde el punto más caliente, observando como si ya había previamente hielo en la carga se alcanzaba la misma temperatura que si se parte desde la carga trabajando por encima de 0 °C, con la única diferencia del tiempo en alcanzar dicha temperatura.

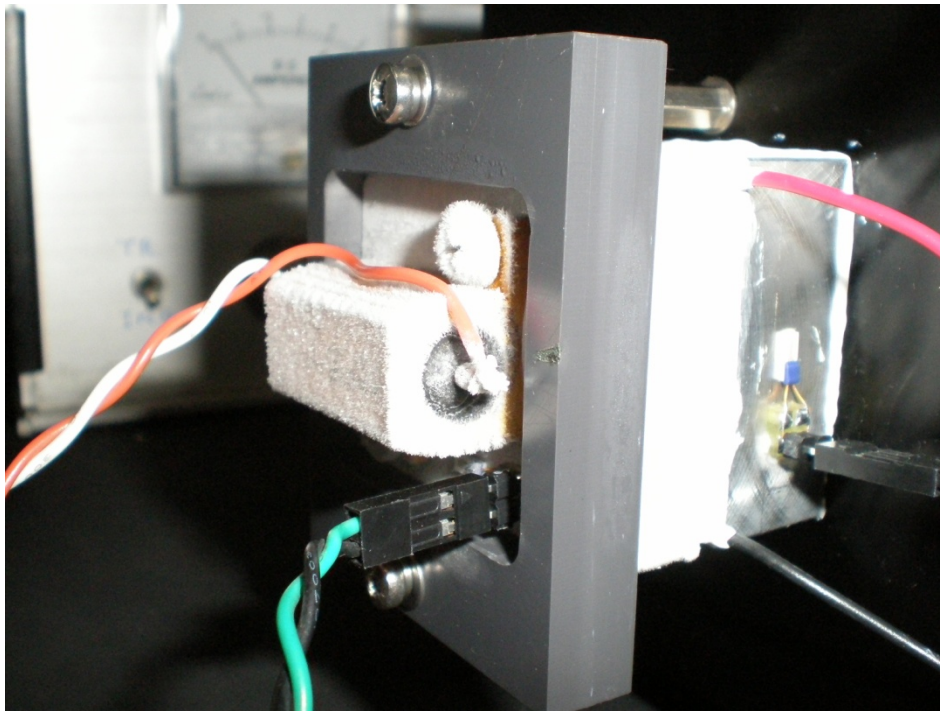


Figura 24

Una apreciación de la sensibilidad del sistema es la variación térmica producida al retirar las conexiones eléctricas a través de las que está siendo alimentada la célula de Peltier, este fenómeno es debido a que el material conductor de dichas conexiones se comporta como un radiador externo que disipa calor del sistema. Así como este efecto puede interferir en la medida de la temperatura, de igual forma afecta la presencia o cercanía de una persona al sistema, por estas razones las medidas siempre se han tomado en tandas en las que se pudiesen asegurar unas condiciones de trabajo constantes.

A continuación se detallan las mediciones realizadas para ambas células de Peltier. Como se puede observar en las tablas, el valor máximo de temperatura alcanzado para las diferentes cargas nunca ha sido mayor a 100°C debido a que ésta es la temperatura máxima de funcionamiento para ambas células. Gráficamente se observa cómo, cuanto mayor es la carga simulada, menor ha de ser el calor aportado por el módulo de Peltier en modo calentamiento y por tanto menor es el consumo de potencia.



1.- Módulo de Peltier ET-241-10-25-E ($I_{max} = 2 \text{ A}$)

Carga de simulación 0 W

$V_{PELTIER}$ [V]	$I_{PELTIER}$ [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [°C]	$R_{DISIPADOR}$ [Ω]	$T_{DISIPADOR}$ [°C]	ΔT [°C]	$P_{CONSUMIDA}$ [W]
30,0	1,8	91,6	-21,3	115,0	38,6	-59,9	54,4
25,0	1,5	91,2	-22,4	113,3	34,2	-56,6	38,2
20,0	1,2	92,0	-20,3	111,7	30,1	-50,4	24,3
15,0	0,9	94,1	-15,2	110,3	26,5	-41,6	13,4
10,0	0,6	98,1	-4,8	109,8	25,2	-30,0	5,7
5,0	0,3	102,3	5,8	108,9	22,8	-17,0	1,3
0,0	0,0	107,9	20,3	108,5	21,8	-1,5	0,0
-5,0	0,2	115,3	39,4	108,5	21,8	17,6	1,2
-10,0	0,4	123,4	60,3	108,8	22,6	37,7	4,2
-15,0	0,6	131,6	81,9	109,3	23,9	58,1	8,6
-17,0	0,6	135,2	91,2	109,2	23,6	67,5	10,7
-20,0		>138,51	>100				

Tabla 3

En esta primera tabla se observa cómo, al trabajar a la tensión máxima de trabajo (30 V), la temperatura en la carga térmica aumenta en lugar de disminuir, por lo que en las medidas realizadas a continuación la tensión máxima de trabajo para el Peltier será de 25 V.

Carga de simulación 1 W

$V_{PELTIER}$ [V]	$I_{PELTIER}$ [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [°C]	$R_{DISIPADOR}$ [Ω]	$T_{DISIPADOR}$ [°C]	ΔT [°C]	$P_{CONSUMIDA}$ [W]
25,0	1,5	92,1	-20,1	114,3	36,8	-56,9	38,1
20,0	1,2	93,2	-17,4	112,1	31,1	-48,5	24,3
15,0	0,9	95,2	-12,2	111,2	28,8	-40,9	13,4
10,0	0,6	98,5	-4,0	110,0	25,7	-29,6	5,8
5,0	0,3	103,0	7,7	109,2	23,6	-15,9	1,4
0,0	0,0	109,5	24,3	109,5	24,4	-0,1	0,0
-5,0	0,2	116,6	42,7	110,3	26,5	16,2	1,1
-10,0	0,4	124,0	62,1	109,6	24,7	37,4	4,0
-15,0	0,6	132,2	83,5	112,4	31,9	51,6	8,4
-17,0	0,6	135,3	91,6	109,5	24,4	67,2	10,6
-20,0		>138,51	>100				

Tabla 4



Carga de simulación 2 W

V_{PELTIER} [V]	I_{PELTIER} [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [°C]	$R_{\text{DISIPADOR}}$ [Ω]	$T_{\text{DISIPADOR}}$ [°C]	ΔT [°C]	$P_{\text{CONSUMIDA}}$ [W]
25,0	1,5	94,2	-14,9	114,7	37,8	-52,7	37,8
20,0	1,2	94,9	-13,1	113,4	34,5	-47,6	24,2
15,0	0,9	96,6	-8,6	111,8	30,3	-39,0	13,5
10,0	0,6	99,6	-1,1	110,7	27,5	-28,6	5,8
5,0	0,3	103,9	10,1	110,0	25,7	-15,6	1,4
0,0	0,0	110,7	27,5	109,8	25,2	2,3	0,0
-5,0	0,2	117,3	44,4	109,3	23,9	20,5	1,0
-10,0	0,4	125,1	64,9	109,6	24,7	40,3	3,9
-15,0	0,6	133,0	85,5	109,7	24,9	60,6	8,3
-17,0	0,6	136,5	94,6	110,0	25,7	68,9	10,4
-20,0		>138,51	>100				

Tabla 5

Carga de simulación 5 W

V_{PELTIER} [V]	I_{PELTIER} [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [°C]	$R_{\text{DISIPADOR}}$ [Ω]	$T_{\text{DISIPADOR}}$ [°C]	ΔT [°C]	$P_{\text{CONSUMIDA}}$ [W]
25,0	1,5	96,1	-10,0	114,2	36,5	-46,6	37,9
20,0	1,2	96,9	-7,8	113,2	33,9	-41,8	24,4
15,0	0,9	98,6	-3,7	111,3	29,0	-32,7	13,7
10,0	0,6	100,9	2,4	109,9	25,4	-23,1	6,1
5,0	0,3	105,6	14,3	109,6	24,7	-10,3	1,6
0,0	0,0	113,1	33,7	109,4	24,1	9,5	0,0
-5,0	0,2	119,3	49,6	110,2	26,2	23,4	0,9
-10,0	0,4	127,0	69,7	110,0	25,7	44,0	3,6
-15,0	0,5	135,0	90,8	110,9	28,0	62,8	7,8
-17,0	0,6	138,2	99,2	111,1	28,5	70,7	9,8
-20,0		>138,51	>100				

Tabla 6



Carga de simulación 10 W

V_{PELTIER} [V]	I_{PELTIER} [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [°C]	$R_{\text{DISIPADOR}}$ [Ω]	$T_{\text{DISIPADOR}}$ [°C]	ΔT [°C]	$P_{\text{CONSUMIDA}}$ [W]
25,0	1,5	100,1	0,1	114,9	38,3	-38,2	38,0
20,0	1,2	100,6	1,6	113,4	34,5	-32,8	24,7
15,0	0,9	102,3	5,8	111,8	30,3	-24,5	14,1
10,0	0,6	105,5	14,1	111,0	28,3	-14,2	6,4
5,0	0,4	110,7	27,5	110,2	26,2	1,3	1,8
0,0	0,0	116,8	43,3	109,9	25,4	17,8	0,0
-5,0	0,1	122,5	57,9	109,9	25,4	32,5	0,6
-10,0	0,3	129,8	77,2	111,0	28,3	48,9	3,0
-15,0	0,5	137,6	97,7	110,9	28,0	69,7	7,0
-17,0		>138,51	>100				

Tabla 7

Carga de simulación 20 W

V_{PELTIER} [V]	I_{PELTIER} [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [°C]	$R_{\text{DISIPADOR}}$ [Ω]	$T_{\text{DISIPADOR}}$ [°C]	ΔT [°C]	$P_{\text{CONSUMIDA}}$ [W]
25,0	1,5	106,5	16,8	115,8	40,7	-23,9	38,6
20,0	1,3	107,7	19,7	114,2	36,5	-16,8	25,5
15,0	1,0	109,8	25,2	113,0	33,4	-8,2	14,9
10,0	0,7	112,9	33,1	112,0	30,8	2,3	7,2
5,0	0,5	117,1	44,0	111,2	28,8	15,3	2,3
0,0	0,0	127,9	72,3	110,5	27,0	45,3	0,0
-5,0	0,0	129,4	76,0	110,6	27,2	48,8	0,0
-10,0	0,2	136,5	94,7	110,9	28,0	66,7	2,0
-12,0	0,2	138,6	100,2	110,9	28,0	72,2	2,6
-15,0		>138,51	>100	111,0			

Tabla 8



Gráfico comparativo de los resultados obtenidos:

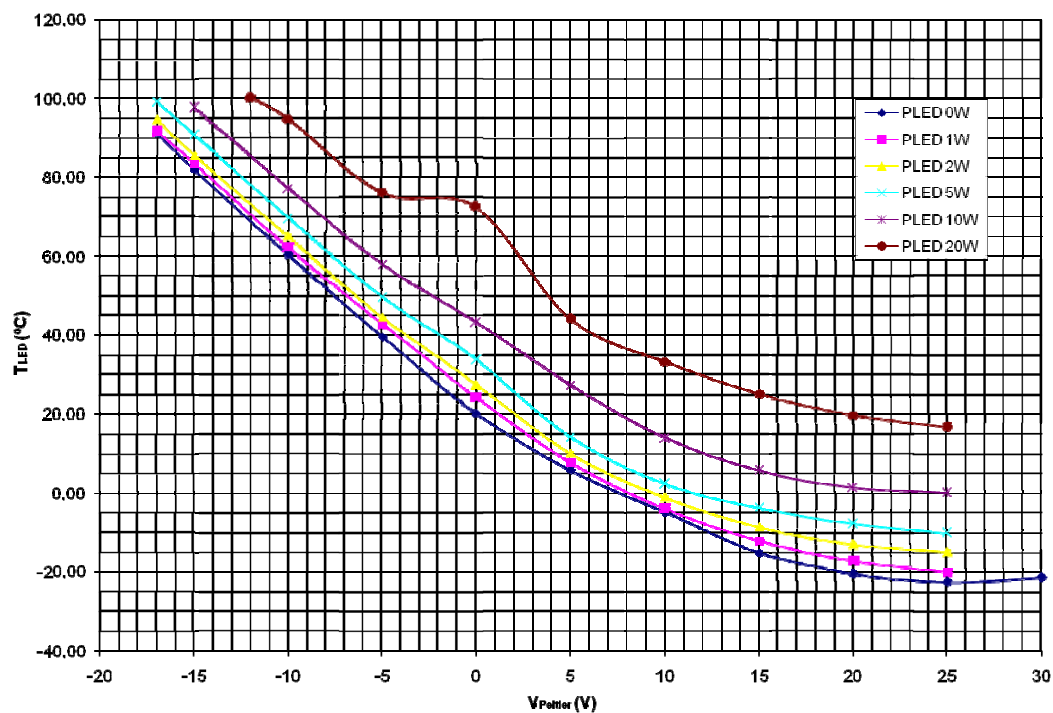


Figura 25

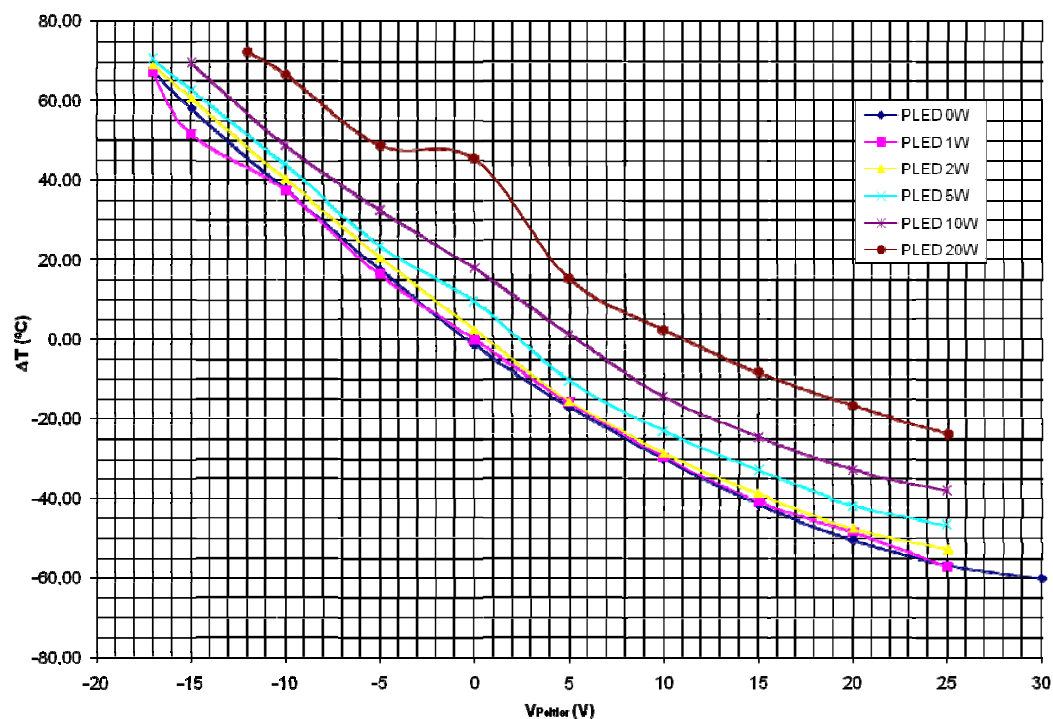


Figura 26



Gráficamente se observa cómo hay una desviación sobre las medidas para la medición realizada con una carga de 20 W y sin aplicar tensión al módulo de Peltier. No obstante como se puede observar en el resultado obtenido en el Peltier ET-287-10-13-E, (figura 27), se muestra repetitividad en esta anomalía, por tanto se considera que dicha desviación está provocada por la constitución física del dispositivo en sí, posiblemente porque, al estar inactivo el Peltier, se comporta como una resistencia térmica adicional en el circuito.

También se puede observar dos variaciones sobre el valor esperado a las potencias de simulación de 1 W y 5 W aplicando -15 V y 0 V al Peltier respectivamente. Estas pequeñas variaciones son consideradas como errores experimentales causados por cambios en los factores ambientales.

2.- Módulo de Peltier ET-287-10-13-E ($I_{max} = 3.9$ A)

Carga de simulación 0 W

$V_{PELTIER}$ [V]	$I_{PELTIER}$ [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [°C]	$R_{DISIPADOR}$ [Ω]	$T_{DISIPADOR}$ [°C]	ΔT [°C]	$P_{CONSUMIDA}$ [W]
25,00	2,19	96,13	-9,9	114,9	38,3	-48,2	54,7
20,00	1,78	96,01	-10,2	113	33,4	-43,6	35,6
15,00	1,33	97,06	-7,5	111,6	29,8	-37,3	20,0
10,00	0,87	98,86	-2,9	109,9	25,4	-28,3	8,7
5,00	0,41	102,69	6,9	108,7	22,3	-15,4	2,1
0,00	0,00	108,6	22,1	108,6	22,1	0,0	0,0
-5,00	0,35	115,43	39,7	108,7	22,3	17,4	1,8
-10,00	0,65	123,18	59,8	109	23,1	36,7	6,5
-15,00	0,90	131,37	81,2	109,6	24,7	56,6	13,4
-19,00	1,08	138,08	98,9	112,2	31,4	67,5	20,5
-20,00		>138,51	>100				

Tabla 9

En esta tabla se observa cómo, al igual que en las medidas realizadas anteriormente, al superar una tensión de 20 V en el Peltier, la temperatura en la carga aumenta en lugar de disminuir, por lo que se adopta esta tensión como límite práctico para nuestro actuador térmico con este dispositivo.



Carga de simulación 1 W

V_{PELTIER} [V]	I_{PELTIER} [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [$^{\circ}\text{C}$]	$R_{\text{DISIPADOR}}$ [Ω]	$T_{\text{DISIPADOR}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	$P_{\text{CONSUMIDA}}$ [W]
25,00	2,17	96,92	-7,9	115,8	40,7	-48,5	54,2
20,00	1,77	96,48	-9,0	113,6	35,0	-44,0	35,4
15,00	1,33	97,24	-7,1	112	30,8	-37,9	20,0
10,00	0,87	99,58	-1,1	110,6	27,2	-28,3	8,7
5,00	0,42	103,39	8,7	109,6	24,7	-16,0	2,1
0,00	0,00	109	23,1	109,8	25,2	-2,1	0,0
-5,00	-0,34	116,17	41,6	110,1	25,9	15,7	1,7
-10,00	-0,63	123,82	61,5	110,1	25,9	35,6	6,3
-15,00	-0,88	132,06	83,0	111,2	28,8	54,3	13,2
-17,00	-0,96	135,51	92,1	111,3	29,0	63,1	16,4
-20,00		>138,51	>100				

Tabla 10

Carga de simulación 2 W

V_{PELTIER} [V]	I_{PELTIER} [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [$^{\circ}\text{C}$]	$R_{\text{DISIPADOR}}$ [Ω]	$T_{\text{DISIPADOR}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	$P_{\text{CONSUMIDA}}$ [W]
25,00	2,16	97,97	-5,2	116,3	42,0	-47,2	54,0
20,00	1,77	97,28	-7,0	113,8	35,5	-42,4	35,4
15,00	1,33	97,91	-5,3	112,1	31,1	-36,4	20,0
10,00	0,88	100,15	0,4	110,9	28,0	-27,6	8,8
5,00	0,42	103,93	10,1	109,8	25,2	-15,1	2,1
0,00	0,00	109,24	23,7	109,5	24,4	-0,7	0,0
-5,00	0,33	116,38	42,2	109,7	24,9	17,3	1,6
-10,00	0,62	123,99	61,9	109,9	25,4	36,5	6,2
-15,00	0,87	132,23	83,5	110,8	27,7	55,7	13,1
-17,00	0,95	135,79	92,8	111,3	29,0	63,8	16,2
-20,00		>138,51	>100				

Tabla 11



Carga de simulación 5 W

V_{PELTIER} [V]	I_{PELTIER} [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [°C]	$R_{\text{DISIPADOR}}$ [Ω]	$T_{\text{DISIPADOR}}$ [°C]	ΔT [°C]	$P_{\text{CONSUMIDA}}$ [W]
25,00	2,16	99,49	-1,3	116,2	41,7	-43,0	54,1
20,00	1,77	99,13	-2,2	114,8	38,1	-40,3	35,5
15,00	1,34	99,82	-0,5	113,2	33,9	-34,4	20,1
10,00	0,89	102,01	5,1	111,3	29,0	-23,9	8,9
5,00	0,45	106,13	15,7	110,9	28,0	-12,3	2,3
0,00	0,00	111,55	29,7	109,7	24,9	4,8	0,0
-5,00	0,29	118,16	46,8	110,3	26,5	20,3	1,4
-10,00	0,58	125,66	66,3	110,6	27,2	39,1	5,8
-15,00	0,83	133,71	87,4	111,1	28,5	58,9	12,5
-17,00	0,92	137	96,0	111,4	29,3	66,7	15,7
-20,00		>138,51	>100				

Tabla 12

Carga de simulación 10 W

V_{PELTIER} [V]	I_{PELTIER} [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [°C]	$R_{\text{DISIPADOR}}$ [Ω]	$T_{\text{DISIPADOR}}$ [°C]	ΔT [°C]	$P_{\text{CONSUMIDA}}$ [W]
25,00	2,18	102,08	5,3	116,5	42,5	-37,2	54,5
20,00	1,79	101,6	4,1	114,6	37,6	-33,5	35,9
15,00	1,37	102,28	5,8	112,6	32,4	-26,6	20,6
10,00	0,93	104,55	11,7	111,4	29,3	-17,6	9,3
5,00	0,50	108,29	21,3	110,5	27,0	-5,7	2,5
0,00	0,00	114,7	37,8	109,8	25,2	12,7	0,0
-5,00	0,24	119,78	51,0	109,7	24,9	26,1	1,2
-10,00	0,53	127,14	70,2	109,8	25,2	45,0	5,3
-15,00	0,78	135,03	90,8	110,4	26,7	64,1	11,7
-17,00	0,88	138,23	99,3	111	28,3	71,0	14,9
-20,00		>138,51	>100				

Tabla 13



Carga de simulación 20 W

V_{PELTIER} [V]	I_{PELTIER} [A]	R_{LED} [Ω]	T_{LED} [$^{\circ}\text{C}$]	$R_{\text{DISIPADOR}}$ [Ω]	$T_{\text{DISIPADOR}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	$P_{\text{CONSUMIDA}}$ [W]
35,00	3,14	101,78	4,6	123,3	60,2	-55,6	109,7
30,00	2,77	100,2	0,5	120,6	53,1	-52,6	83,2
25,00	2,38	100,54	1,4	117,8	45,9	-44,5	59,6
20,00	1,94	101,7	4,4	115,4	39,6	-35,3	38,8
15,00	1,48	103,64	9,3	113,7	35,2	-25,9	22,2
10,00	1,03	106,82	17,5	112,9	33,2	-15,7	10,3
5,00	0,60	111,36	29,2	112	30,8	-1,7	3,0
0,00	0,00	119,42	50,1	111,5	29,6	20,5	0,0
-5,00	0,13	123,37	60,3	111,3	29,0	31,3	0,7
-10,00	0,43	130,69	79,5	111,5	29,6	49,9	4,3
-12,00	0,54	133,82	87,7	111,7	30,1	57,6	6,4
-15		>138,51	>100				

Tabla 14

Gráfico comparativo de los resultados obtenidos:

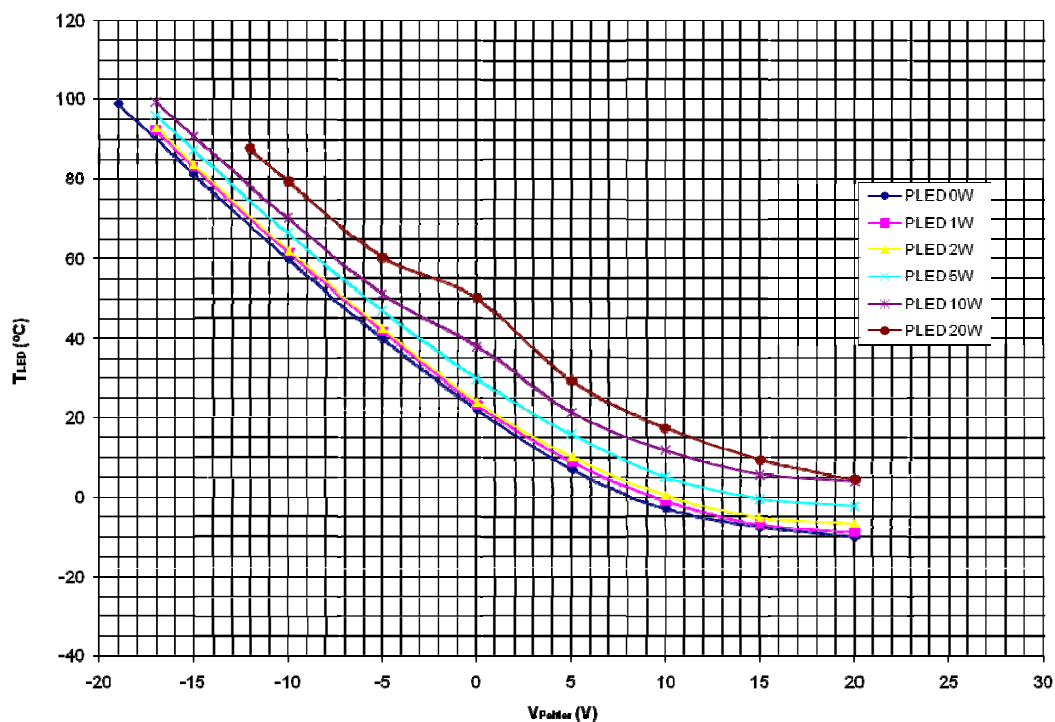


Figura 27

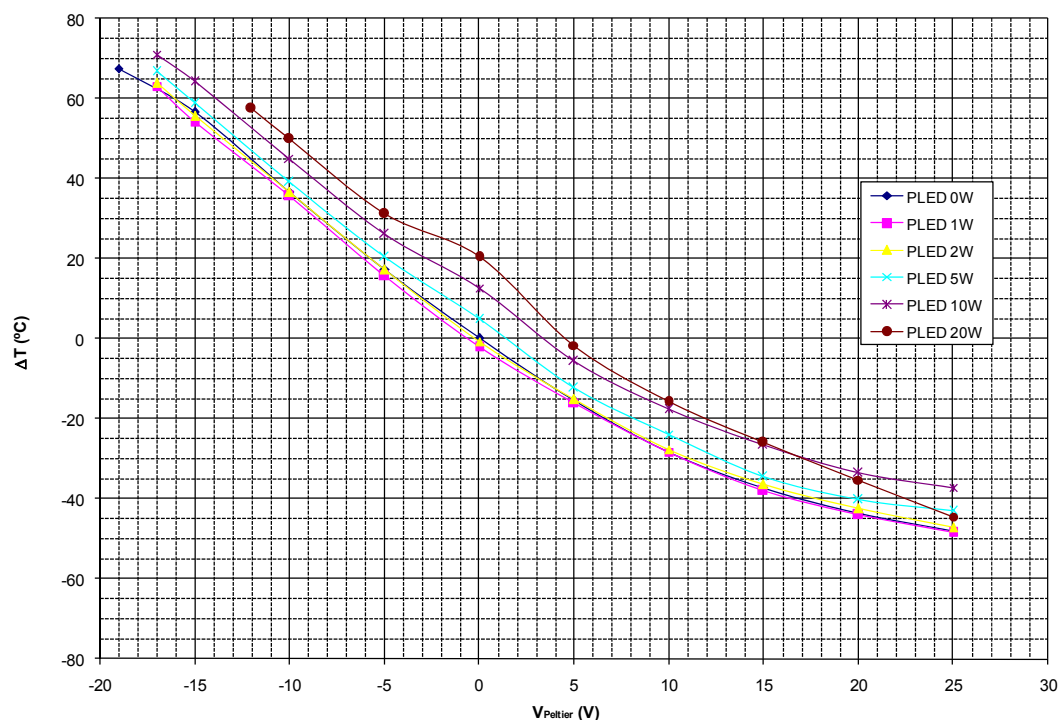


Figura 28

Como se comentó anteriormente, nuevamente se vuelve a observar la anomalía cuando la carga de simulación es de 20 W y no se aplica tensión alguna al Peltier, no obstante en este caso la perturbación es menor. Este hecho es consistente con que, al ser este un Peltier de mayor corriente máxima, consta de más elementos en paralelo, con lo que su resistencia térmica cuándo se encuentra inactivo es menor.

Como conclusiones generales de los ensayos realizados sobre el actuador térmico cabe destacar las siguientes.

- Debido a que la potencia disipada por el Peltier produce un calentamiento del disipador respecto al ambiente, llega un momento en que aumentar la tensión aplicada al Peltier es contraproducente ya que, aunque el salto térmico producido por éste aumente, la temperatura en la carga también lo hace.
- El Peltier de menor capacidad probado, con $Q_{MAX} = 34.5$ W es suficiente para controlar la temperatura de LEDs de hasta 20 W de potencia en un



intervalo de temperaturas de 20 °C a 100 °C. El de mayor capacidad ($Q_{MAX} = 85.6 \text{ W}$) sólo sería necesario para LEDs de mayor potencia.

4.2. Caracterización de la Etapa de Potencia

Una vez caracterizado el comportamiento de la célula de Peltier, se ha procedido a estudiar el comportamiento de la etapa de potencia. Para ello se han realizado ensayos variando las frecuencias de disparo, el ciclo de trabajo de la señal PWM y la corriente por la carga, observando no sólo la magnitud de la señal obtenida en la carga sino la calidad de dicha señal y el reparto de corriente entre los seis módulos de potencia conectados en paralelo.

El primer estudio realizado es observar el funcionamiento a distintas frecuencias de disparo, para lo cual, fijando un ciclo de trabajo del 20 % y una corriente de pico en la carga de unos 11,4 A, se ha variado la frecuencia de conmutación entre los valores de 1 KHz, 5 KHz, 10 KHz, 50 KHz y 100 KHz.

En las capturas de la pantalla del osciloscopio que se muestran a continuación (ver figura 29 a 33), se muestran en la traza superior (amarilla) la señal de control PWM, en la intermedia (roja) la forma de onda de la corriente de salida en una carga resistiva y en la traza inferior (azul) se muestra la medida de corriente en uno de los módulos de potencia, obtenida en el pin 8 del LMD18200.

De forma clara, se aprecia que los tiempos de conmutación del sistema afectan a la forma de onda en la salida para frecuencias superiores a 10 KHz. Además, a partir de esta misma frecuencia, la medida de corriente obtenida de los LMD18200 es notablemente inexacta, debido al retraso entre el flanco de subida de esta señal (traza azul) y la forma de onda real de la corriente en la carga (traza roja). Por todo ello limitamos la frecuencia de trabajo para nuestro sistema a ese valor de 10 KHz.

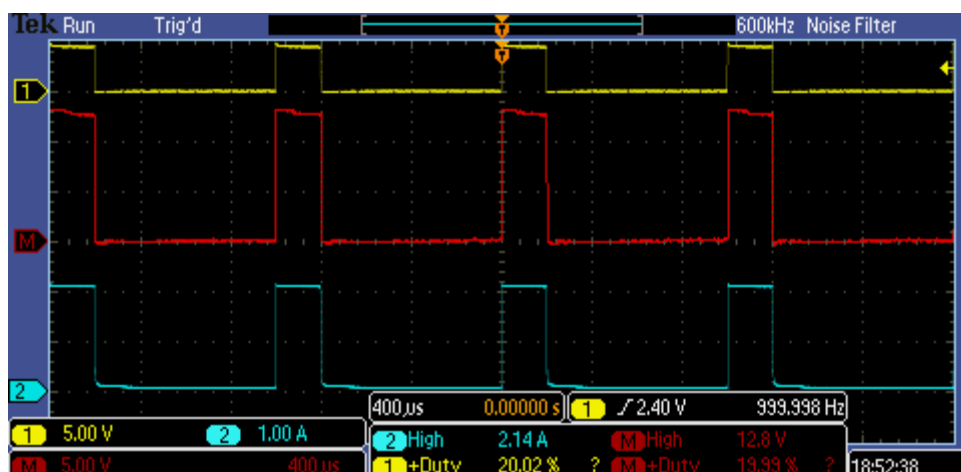


Figura 29. Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 1 KHz

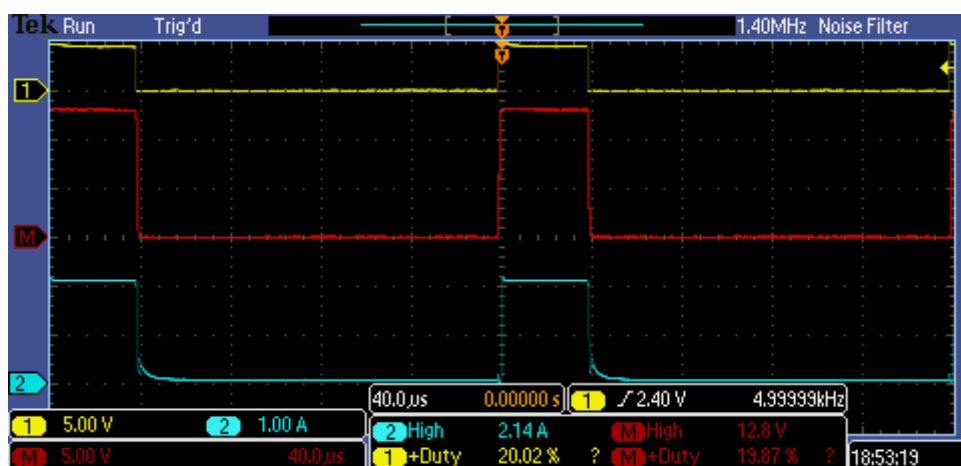


Figura 30. Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 5 KHz

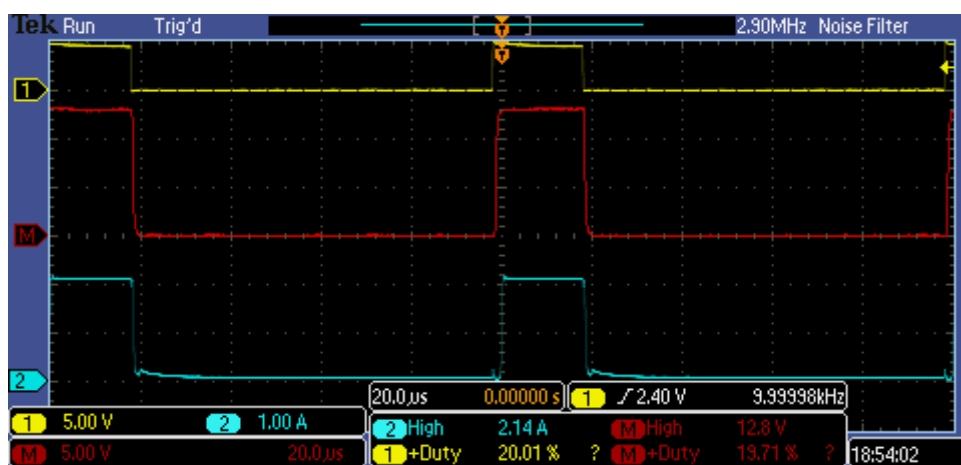


Figura 31. Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 10 KHz

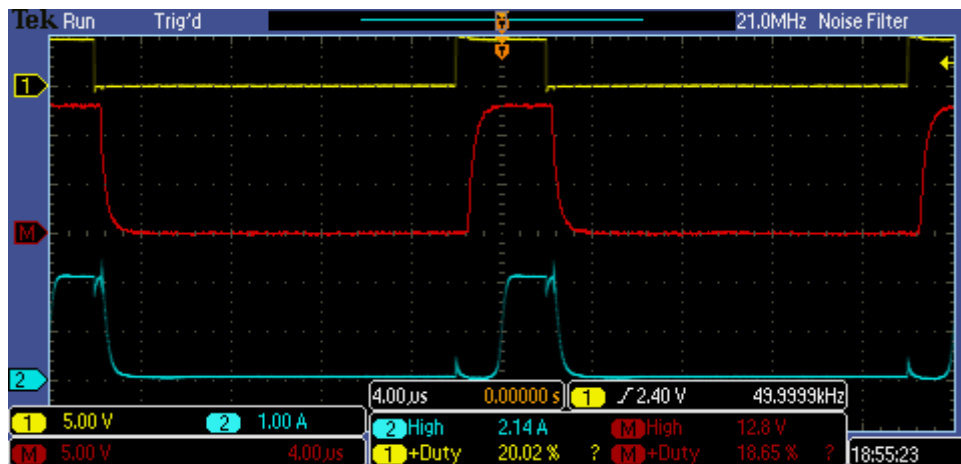


Figura 32. Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 50 KHz

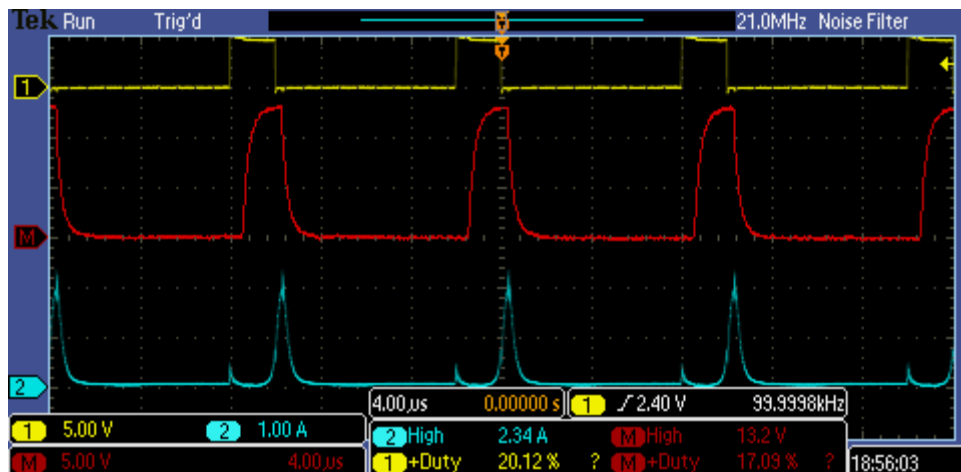


Figura 33. Gráfico de V, I y PWM a frecuencia 100 KHz

Otro fenómeno adverso presente a frecuencias superiores a 10 KHz es la aparición de un retraso de aproximadamente 2 μ s entre la corriente por la carga y la señal PWM aplicada. Este factor no es determinante pero si contribuye al mal funcionamiento a dichas frecuencias.

Una vez analizada la frecuencia máxima de trabajo, se realizó el estudio del reparto de corriente entre los seis módulos de potencia conectados en paralelo, observando si la distribución de corriente suministrada era de la misma magnitud para todos los integrados LMD18200. Estas medidas experimentales permiten determinar la corriente máxima a la que puede funcionar el conjunto sin que ninguno de los integrados supere su límite de 3 A.



Este ensayo se ha realizado a una frecuencia de 1 KHz, con una corriente de pico por la carga de 11,4 A aproximadamente. Se han tomado medidas para ciclos de trabajo del 20 %, 40 %, 60 % y 80 %.

En las figuras 34 a 39 se muestran los resultados obtenidos para un ciclo de trabajo del 20 %.

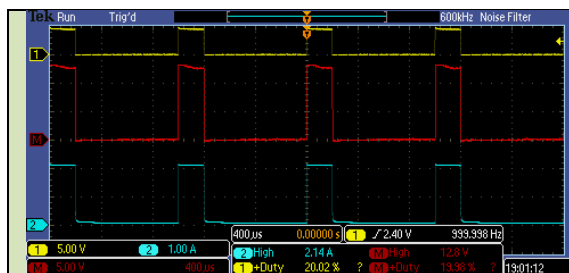


Figura 34. LMD18200_1 (D.C. 20%)

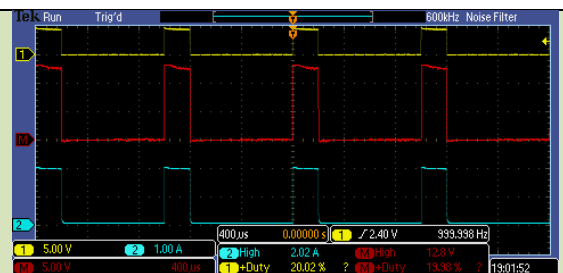


Figura 35. LMD18200_2 (D.C. 20%)

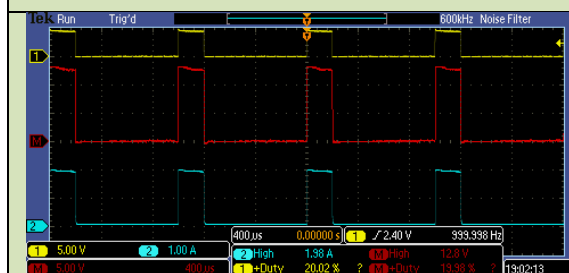


Figura 36. LMD18200_3 (D.C. 20%)

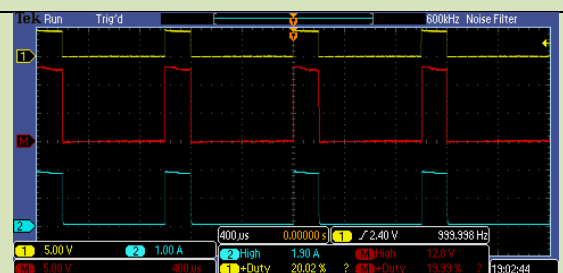


Figura 37. LMD18200_4 (D.C. 20%)

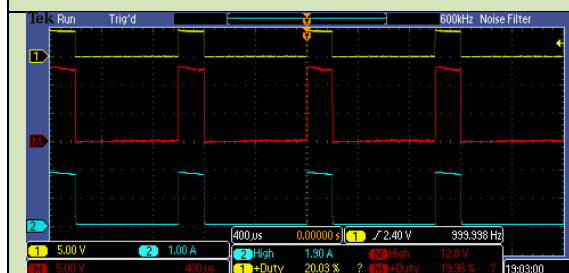


Figura 38. LMD18200_5 (D.C. 20%)

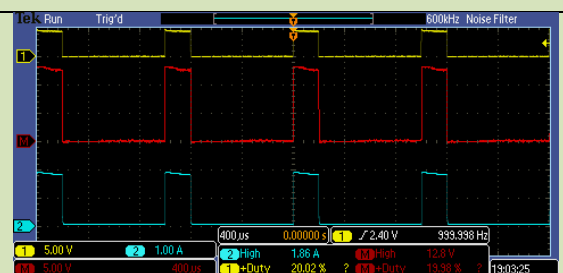


Figura 39. LMD18200_6 (D.C. 20%)

Resultados:

$$I_{LMD18200} = 1.97 \text{ A}$$

$$I_{MAX} = 2.14 \text{ A}; \Rightarrow +8.63 \%$$

$$I_{MIN} = 1.86 \text{ A}; \Rightarrow -5.58 \%$$



En las figuras 40 a 45 se muestran los resultados obtenidos para un ciclo de trabajo del 40 %.

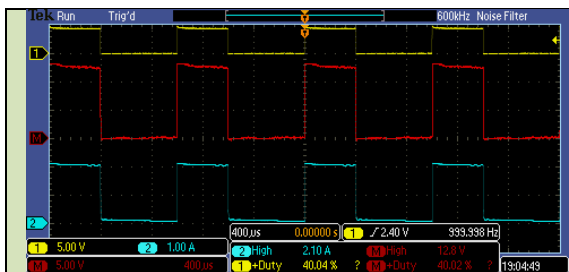


Figura 40. LMD18200_1 (D.C. 40%)

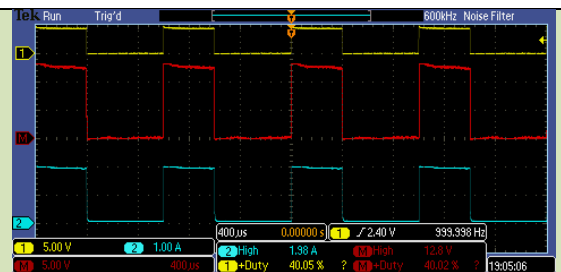


Figura 41. LMD18200_2 (D.C. 40%)

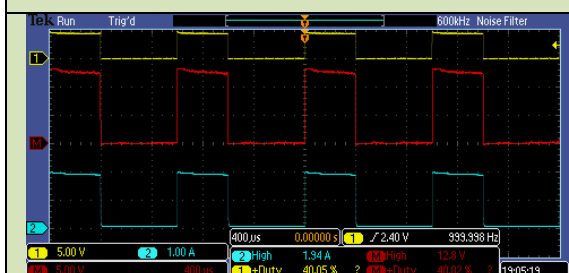


Figura 42. LMD18200_3 (D.C. 40%)



Figura 43. LMD18200_4 (D.C. 40%)

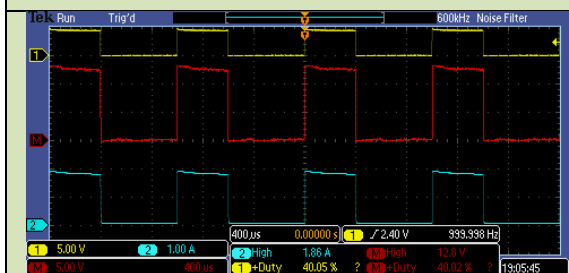


Figura 44. LMD18200_5 (D.C. 40%)



Figura 45. LMD18200_6 (D.C. 40%)

Resultados:

$$I_{LMD18200} = 1.93 \text{ A}$$

$$I_{MAX} = 2.10 \text{ A}; \Rightarrow +8.81 \%$$

$$I_{MIN} = 1.82 \text{ A}; \Rightarrow -5.70 \%$$



En las figuras 46 a 51 se muestran los resultados obtenidos para un ciclo de trabajo del 60 %.

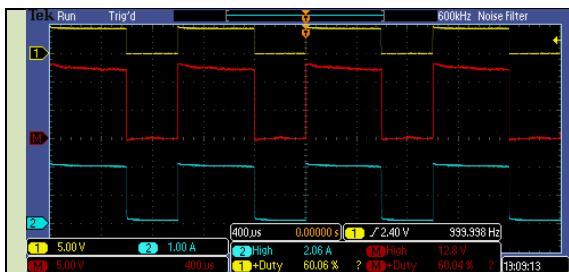


Figura 46. LMD18200_1 (D.C. 60%)

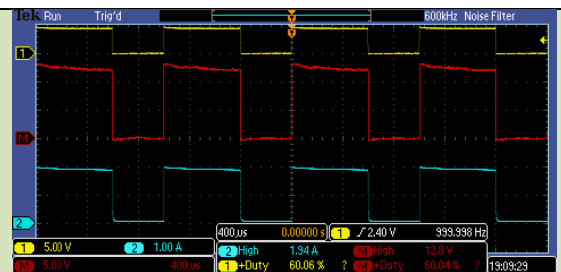


Figura 47. LMD18200_2 (D.C. 60%)

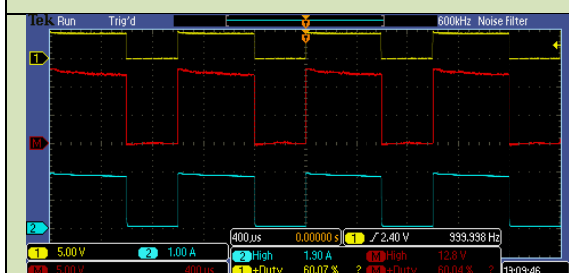


Figura 48. LMD18200_3 (D.C. 60%)

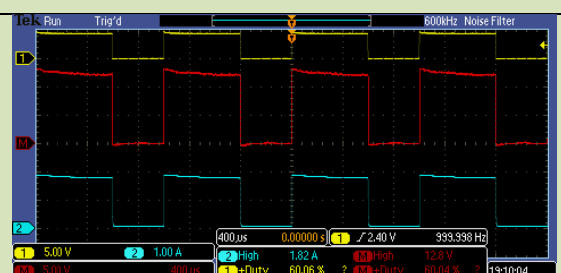


Figura 49. LMD18200_4 (D.C. 60%)

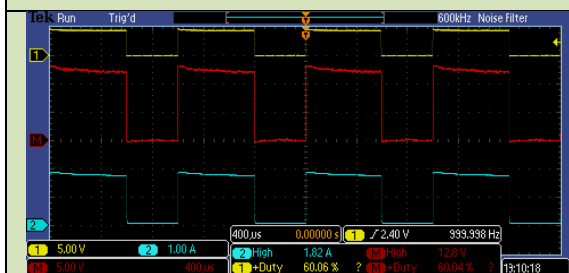


Figura 50. LMD18200_5 (D.C. 60%)

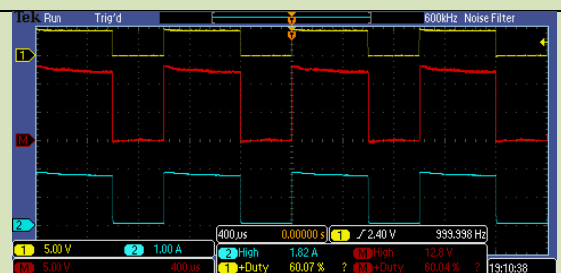


Figura 51. LMD18200_6 (D.C. 60%)

Resultados:

$$I_{LMD18200} = 1.89 \text{ A}$$

$$I_{MAX} = 2.06 \text{ A}; \Rightarrow +9.00 \%$$

$$I_{MIN} = 1.82 \text{ A}; \Rightarrow -3.70 \%$$



En las figuras 52 a 57 se muestran los resultados obtenidos para un ciclo de trabajo del 80 %.

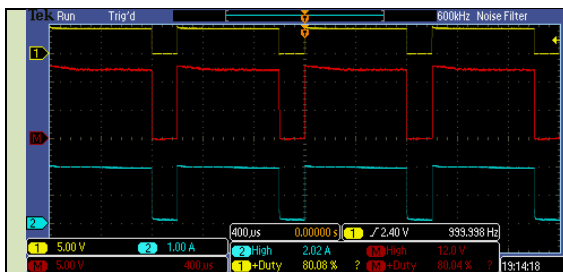


Figura 52. LMD18200_1 (D.C. 80%)

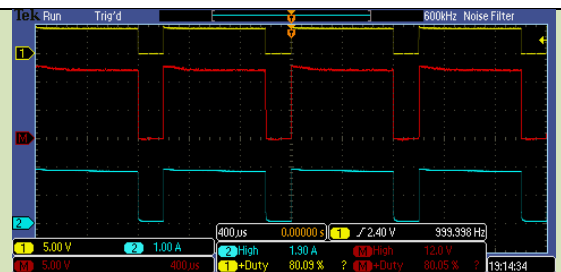


Figura 53. LMD18200_2 (D.C. 80%)

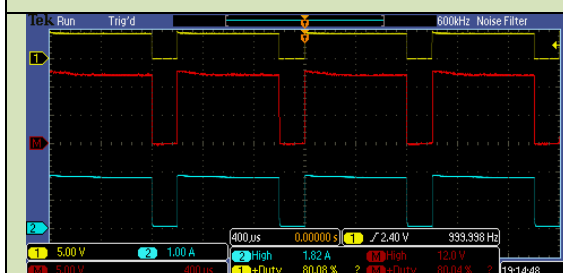


Figura 54. LMD18200_3 (D.C. 80%)

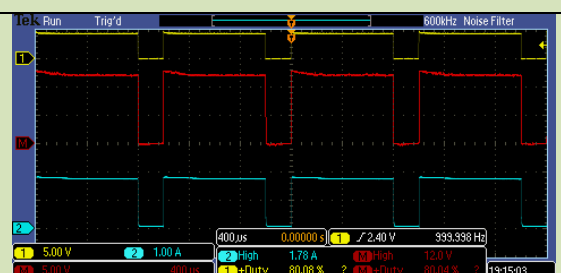


Figura 55. LMD18200_4 (D.C. 80%)

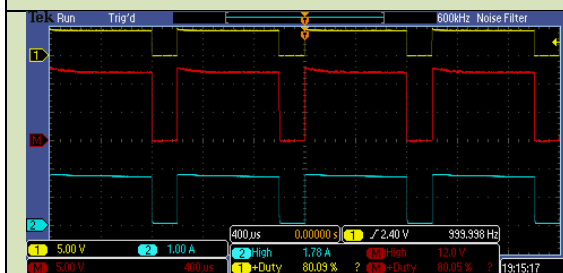


Figura 56. LMD18200_5 (D.C. 80%)

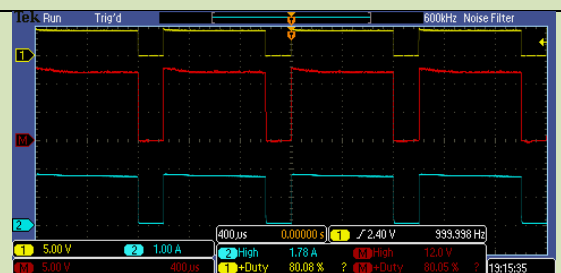


Figura 57. LMD18200_6 (D.C. 80%)

Resultados:

$$I_{LMD18200} = 1.85 \text{ A}$$

$$I_{MAX} = 2.02 \text{ A}; \Rightarrow +9.19 \%$$

$$I_{MIN} = 1.78 \text{ A}; \Rightarrow -3.78 \%$$

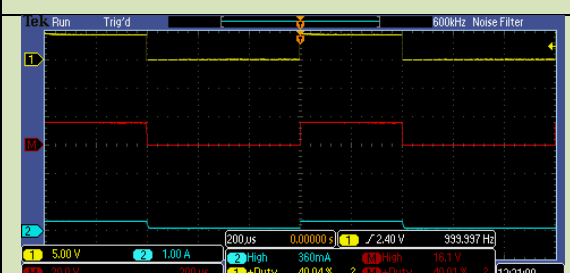
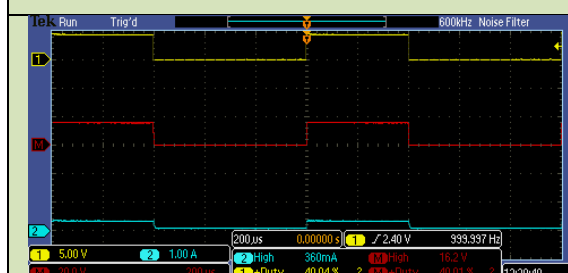
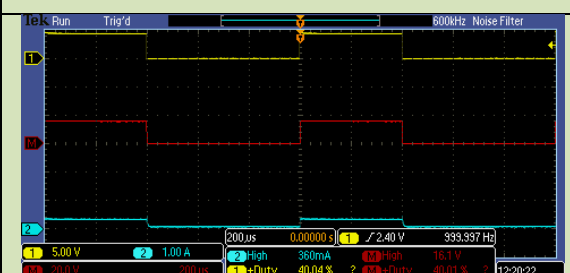
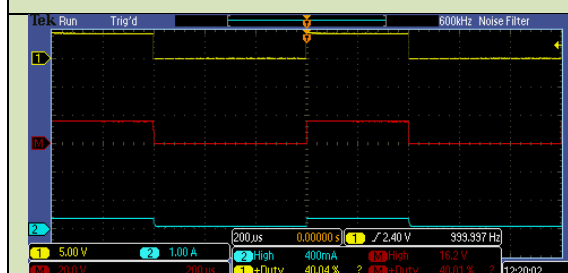
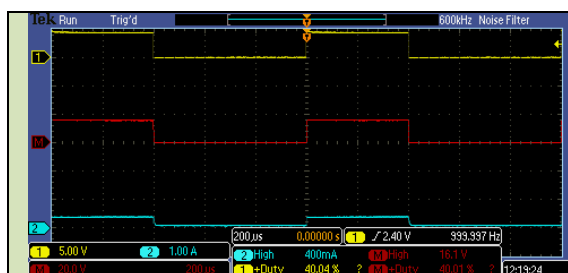


Como conclusión, podemos ver como la variación de corriente de unos dispositivos a otros es del $\pm 10 \%$ como máximo. Adicionalmente, es interesante señalar el hecho de que la corriente tiende a ser menor en los dispositivos más alejados de los terminales de conexión, lo que parece sugerir un efecto parásito de la resistencia de las pistas del circuito impreso. De confirmarse esta hipótesis, una posible solución sería poner el conector de alimentación y el de salida para el Peltier en extremos opuestos de la placa.

Para finalizar con la caracterización de la etapa de potencia se repitieron las medidas anteriores fijando el ciclo de trabajo al 40 % y variando la corriente suministrada a la carga, demostrando como el comportamiento es el adecuado para distintos regímenes de trabajo, no obstante se vuelve a calcular la variación de corriente entre los distintos LMD18200, volviéndose a encontrar el fenómeno de que, cuanto más alejado se encuentra el integrado de la alimentación menor corriente suministra, confirmando la hipótesis del factor parásito de resistencia de las pistas.



Resultados obtenidos aplicando corriente de pico en la carga de 2 A:



Resultados:

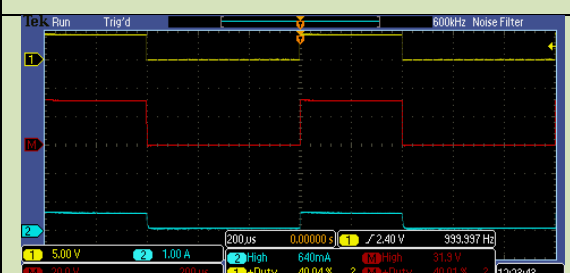
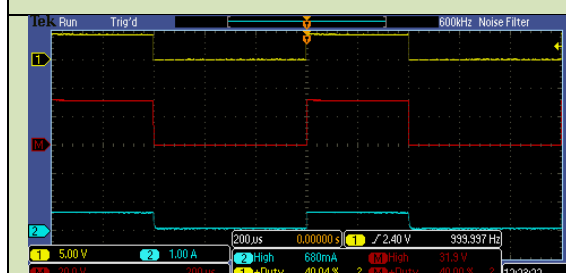
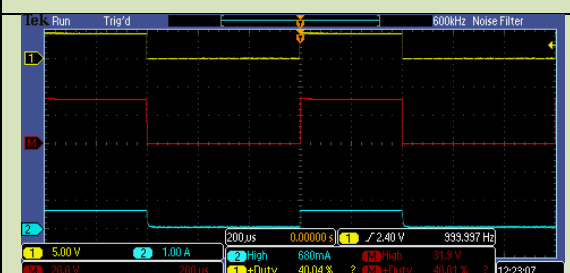
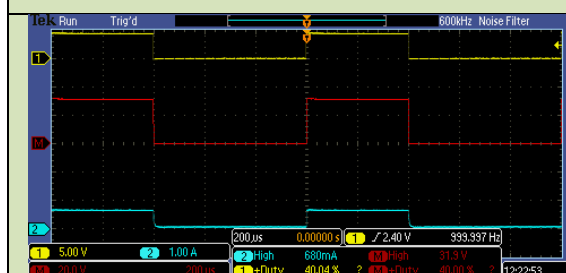
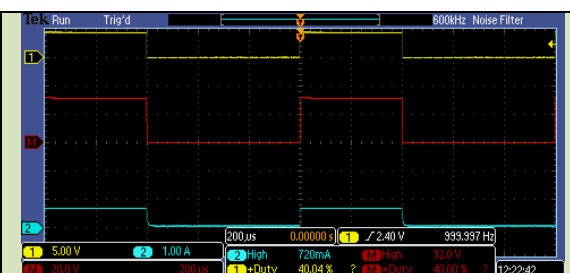
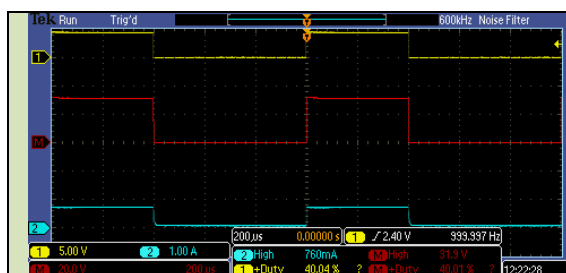
$$I_{LMD18200} = 380 \text{ mA}$$

$$I_{MAX} = 400 \text{ mA}; \Rightarrow +5.26 \%$$

$$I_{MIN} = 360 \text{ mA}; \Rightarrow -5.26 \%$$



Resultados obtenidos aplicando corriente de pico en la carga de 4 A:



Resultados:

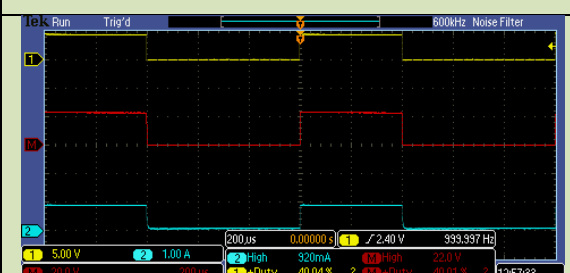
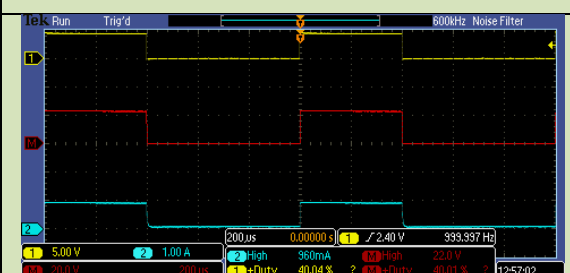
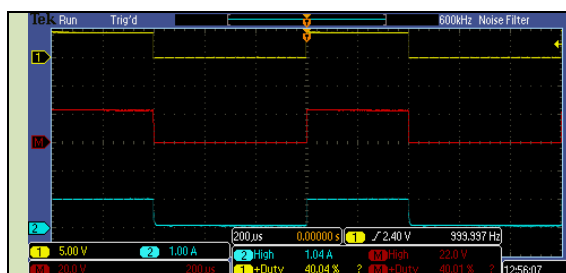
$$I_{LMD18200} = 693.3 \text{ mA}$$

$$I_{MAX} = 760 \text{ mA}; \Rightarrow +9.62 \%$$

$$I_{MIN} = 640 \text{ mA}; \Rightarrow -7.69 \%$$



Resultados obtenidos aplicando corriente de pico en la carga de 6 A:



Resultados:

$$I_{LMD18200} = 973.3 \text{ mA}$$

$$I_{MAX} = 1.04 \text{ A}; \Rightarrow +6.85 \%$$

$$I_{MIN} = 920 \text{ mA}; \Rightarrow -5.48 \%$$



4.3. Caracterización del Sistema Completo

Una vez caracterizado el funcionamiento del actuador térmico y la etapa de potencia, se ha realizado un ensayo de funcionamiento experimental del sistema completo, comprobando la estabilidad del sistema a unas temperaturas determinadas.

Para poder afirmar su correcto funcionamiento ciñéndose a la normativa existente, los ensayos se han realizado fijando dos temperaturas (20°C y 80°C) con los dos diferentes Peltier. De esta forma se observa la estabilidad del conjunto y su rendimiento frente a la variación de las condiciones de trabajo.

Resultados experimentales para ET-241-10-25-E:

Temperatura de consigna: 20 °C:

P_{LED} [W]	$I_{PELTIER}$ [A]	$I_{PELTIER}/I_{NOM}$	V_{TLED} [V]	T_{LED} [°C]	$P_{PELTIER}$ [W]	$P_{LED}/P_{PELTIER}$
1,00	0,05	0,03	0,7997	19,99	1,5	0,67
2,00	0,10	0,05	0,8003	20,01	3,0	0,67
5,00	0,43	0,22	0,8112	20,28	12,9	0,39
10,00	0,79	0,40	0,8274	20,69	23,7	0,42
20,00	1,50	0,75	0,8521	21,30	45,0	0,44

Tabla 15

Temperatura de consigna: 80 °C:

P_{LED} [W]	$I_{PELTIER}$ [A]	$I_{PELTIER}/I_{NOM}$	V_{TLED} [V]	T_{LED} [°C]	$P_{PELTIER}$ [W]	$P_{LED}/P_{PELTIER}$
1,00	-0,60	0,30	3,2000	80,00	18,0	0,06
2,00	-0,58	0,29	3,2010	80,03	17,4	0,11
5,00	-0,53	0,27	3,2036	80,09	15,9	0,31
10,00	-0,44	0,22	3,2091	80,23	13,2	0,76
20,00	-0,20	0,10	3,2120	80,30	6,0	3,33

Tabla 16



Resultados experimentales para ET-287-10-13-E:

Temperatura de consigna: 20 °C:

P_{LED} [W]	$I_{PELTIER}$ [A]	$I_{PELTIER}/I_{NOM}$	$V_{T_{LED}}$ [V]	T_{LED} [°C]	$P_{PELTIER}$ [W]	$P_{LED}/P_{PELTIER}$
1,00	0,20	0,05	0,8004	20,01	6,0	0,17
2,00	0,22	0,06	0,7999	20,00	6,6	0,30
5,00	0,68	0,17	0,8097	20,24	20,4	0,25
10,00	1,32	0,34	0,8246	20,62	39,6	0,25
20,00	2,18	0,56	0,8500	21,25	65,4	0,31

Tabla 17

Temperatura de consigna: 80 °C:

P_{LED} [W]	$I_{PELTIER}$ [A]	$I_{PELTIER}/I_{NOM}$	$V_{T_{LED}}$ [V]	T_{LED} [°C]	$P_{PELTIER}$ [W]	$P_{LED}/P_{PELTIER}$
1,00	-1,01	0,26	3,2025	80,06	30,3	0,03
2,00	-0,99	0,25	3,2020	80,05	29,6	0,07
5,00	-0,93	0,24	3,2040	80,10	27,8	0,18
10,00	-0,84	0,21	3,2080	80,20	25,1	0,40
20,00	-0,68	0,17	3,2123	80,31	20,4	0,98

Tabla 18

En la siguiente figura se puede observar la evolución de la temperatura en función de la carga térmica (la potencia disipada en el LED) para las temperaturas de consigna de 20 °C y 80 °C.

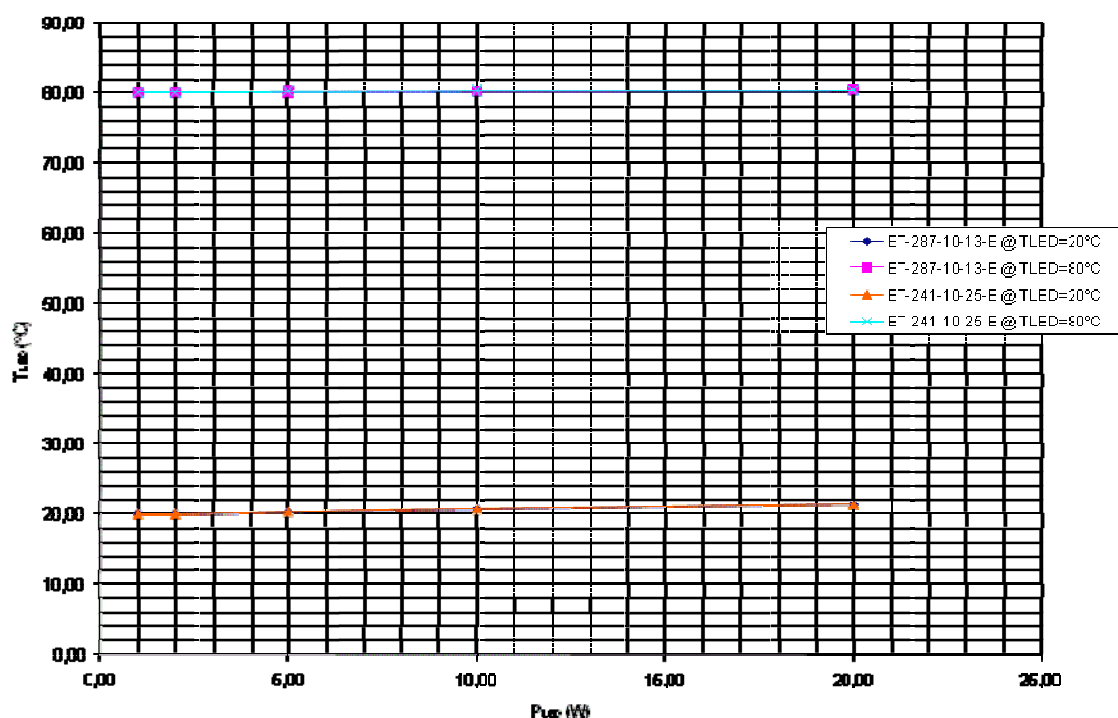


Figura 76

Del examen de esta gráfica, podemos concluir que el error al variar la carga térmica entre 1 y 20 W es de 1,3 °C para una temperatura de consigna de 20 °C y de 0.30 °C para una temperatura de consigna de 80 °C. Esto es consistente con el carácter puramente proporcional del control empleado, que requiere mayor error entre la consigna y la medida cuanto mayor es la magnitud de la señal de actuación requerida (como se aprecia en las tablas, la variación de corriente por el Peltier es mucho mayor para la consigna de 20 °C que para la de 80 °C).

En la siguiente gráfica, se muestra una estimación del rendimiento, calculado como el cociente entre la potencia disipada en la carga térmica y la aplicada al Peltier, en función de la relación entre la corriente aplicada al Peltier y su valor máximo nominal.

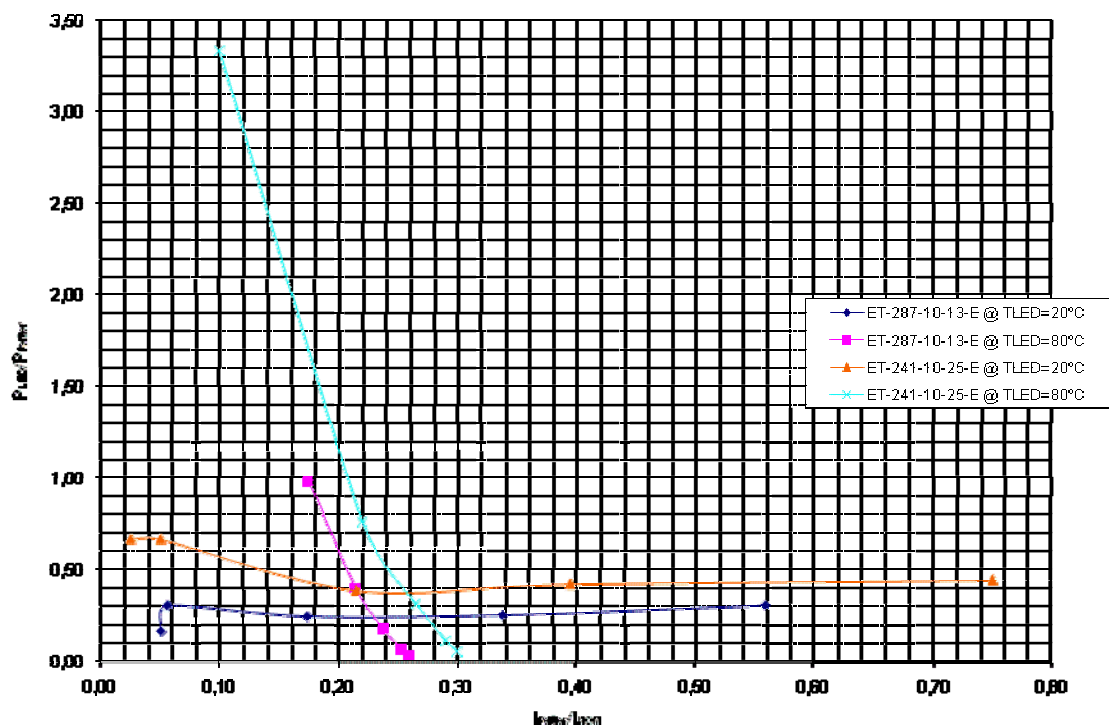


Figura 77

Una primera conclusión obvia de esta gráfica es que, para la consigna de 80 °C el rendimiento es mucho mayor que para la de 20 °C, ya que, en este caso, el Peltier sólo debe aportar un plus de calor para elevar la temperatura de la carga.

Para la consigna de 20 °C, con el Peltier bombeando calor desde la carga térmica al disipador, el rendimiento es, lógicamente muy inferior.

En todo caso, para el rango de potencia y temperaturas en la carga utilizados durante estos ensayos, queda claro, que resulta óptimo utilizar el Peltier de menor capacidad, que ofrece un mejor rendimiento. La utilización del dispositivo de mayor capacidad, quedaría relegada al control de LEDs con potencias superiores a 20 W,



CAPÍTULO 5:

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. Conclusiones experimentales

Podemos concluir que, con el trabajo de diseño y caracterización experimental realizado, se han obtenido los siguientes resultados:

- Diseño y validación de un módulo actuador térmico utilizable con una amplia gama de células de Peltier, ya que el único condicionante es que estas sean de 40x40mm.
- Diseño y validación de una etapa de potencia modular, adaptable al control de temperatura usando células de Peltier de hasta 15 A de corriente nominal. Este diseño es fácilmente adaptable, sin más que montar el número de módulos de potencia necesario.
- Comprobación de que, con nuestro diseño y para un rango de temperaturas de entre 20 y 80°C, puede utilizarse en el control de temperatura un Peltier con una capacidad de bombeo de calor de aproximadamente 1,7 veces la potencia disipada en el LED.

Destacando sobre otros factores estudiados, se encuentra el funcionamiento del elemento seleccionado como actuador térmico, el Peltier, ya que a pesar de los inconvenientes encontrados en su acondicionamiento o incluso en la parametrización de su funcionamiento, ha resuelto con solvencia los objetivos propuestos, mostrándose suficiente como para desempeñar su función con fiabilidad.

Una conclusión remitida directamente de la realización de las medidas de temperatura del sistema es la dificultad que conlleva establecer unas condiciones ambientales que no intervengan de forma significativa en el proceso, de esta forma, para alcanzar el máximo rendimiento del trabajo habría



que realizar los ensayos en un medio climatizado que permita mantener con repetitividad las condiciones ambientales.

5.2. Conclusiones generales

Las conclusiones generales han sido adquiridas en el conjunto de la elaboración del proyecto, comprobando cómo el correcto funcionamiento del sistema proviene del buen comportamiento de cada etapa del proyecto, de tal forma que aquellos elementos muchas veces contemplados como secundarios o auxiliares a otro dispositivo estudiado como principal, serán claves para poder alcanzar con éxito el objetivo del sistema de instrumentación.

5.3. Ampliaciones de diseño

La principal línea de desarrollo a seguir en futuros proyectos sería la de sustituir el sencillo control analógico utilizado para nuestros ensayos por un sistema digital de control, capaz de utilizar estrategias de tipo PID u otras más complejas para eliminar el error en el control de temperatura comentado en el punto 4.3.

Dada la naturaleza del proyecto, una ampliación de desarrollo es siempre aumentar el rango de actuación, permitiendo caracterizar en el futuro elementos o conjuntos de elementos de mayor potencia calórica desprendida o para alcanzar temperaturas más bajas.

Por último, la ampliación de desarrollo más significativa sería la integración del sistema junto a otros sistemas de igual propósito en un conjunto mayor para poder realizar la caracterización de un dispositivo LED en todos sus parámetros mediante un único sistema de instrumentación. Este futuro desarrollo partiría de la inclusión mediante el control por microcontrolador de todos los sistemas a intervenir, eligiendo así tal dispositivo capaz de gestionar aquellas herramientas empleadas en dicha parametrización.



PLIEGO DE CONDICIONES



Especificaciones técnicas:

Con el fin de concretar el alcance del proyecto se determinan como especificaciones de diseño aquellas condiciones indispensables para el buen funcionamiento del diseño.

Dichas condiciones tendrán que estar inscritas en la especificación de la norma IES-LM-80-08, que detalla factores de trabajo como son la humedad ambiental o los tiempos de medida, no obstante el propósito principal del proyecto será la de mantener las dos temperaturas especificadas en la norma de 55 °C y 85 °C. Estas temperaturas han de ser constantes con un rango de ± 2 °C.

Atendiendo a la configuración física del actuador térmico se determinan como especificaciones las medidas en superficie de la célula de Peltier, siendo válidos aquellos dispositivos de esta naturaleza con dimensiones de 40 x40 mm pudiendo en casos particulares permitir una mayor dimensión de una de las caras, no superando los 50 x 50 mm en una única cara. Vinculado a este factor dimensional se encuentra la potencia del dispositivo, delimitada por la etapa de potencia diseñada para una corriente máxima de 18 amperios, no siendo recomendable superar el 85 % de dicho valor.

A continuación se detallan los dispositivos inscritos en las especificaciones técnicas de diseño.

- . Integrado LMD18200.
- . Termoresistencia Pt100.
- . Precisión ± 0.15 °C
- . Célula de Peltier:
 - . Medidas: 40 x 40 x XX
 - . $I_{max} \leq 18$ A



April 2005

LMD18200 3A, 55V H-Bridge

General Description

The LMD18200 is a 3A H-Bridge designed for motion control applications. The device is built using a multi-technology process which combines bipolar and CMOS control circuitry with DMOS power devices on the same monolithic structure. Ideal for driving DC and stepper motors; the LMD18200 accommodates peak output currents up to 6A. An innovative circuit which facilitates low-loss sensing of the output current has been implemented.

Features

- Delivers up to 3A continuous output
- Operates at supply voltages up to 55V
- Low $R_{DS(ON)}$ typically 0.3Ω per switch
- TTL and CMOS compatible inputs

- No "shoot-through" current
- Thermal warning flag output at 145°C
- Thermal shutdown (outputs off) at 170°C
- Internal clamp diodes
- Shorted load protection
- Internal charge pump with external bootstrap capability

Applications

- DC and stepper motor drives
- Position and velocity servomechanisms
- Factory automation robots
- Numerically controlled machinery
- Computer printers and plotters

LMD18200 3A, 55V H-Bridge

Functional Diagram

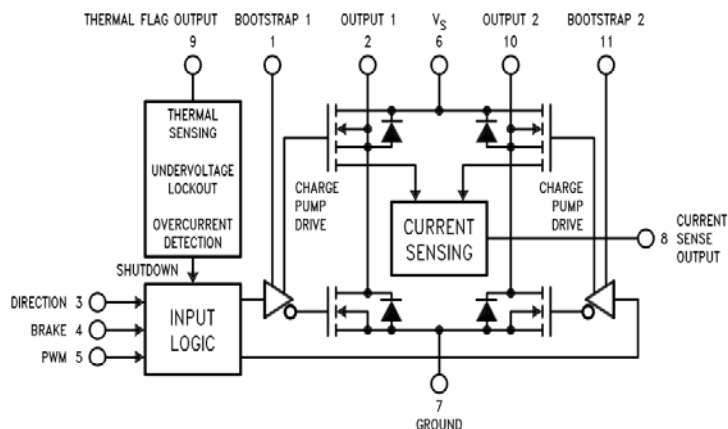
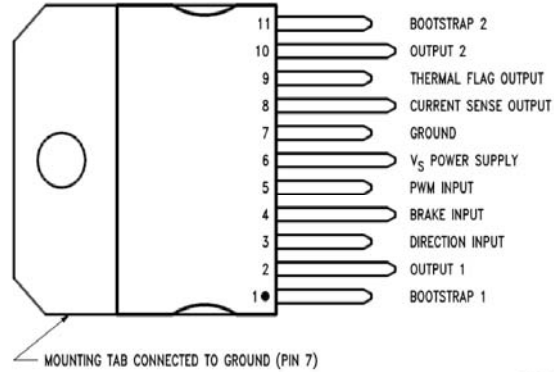


FIGURE 1. Functional Block Diagram of LMD18200



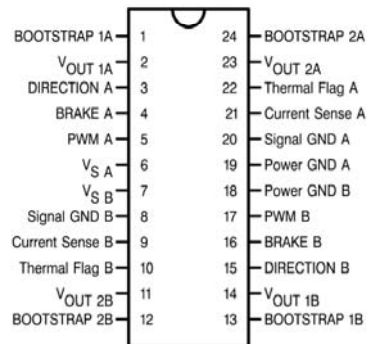
LMD18200

Connection Diagrams and Ordering Information



01056802

11-Lead TO-220 Package
Top View
Order Number LMD18200T
See NS Package TA11B



01056805

24-Lead Dual-in-Line Package
Top View
Order Number LMD18200-2D-QV
5962-9232501VXA
LMD18200-2D/883
5962-9232501MXA
See NS Package DA24B



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Total Supply Voltage (V_S , Pin 6)	60V
Voltage at Pins 3, 4, 5, 8 and 9	12V
Voltage at Bootstrap Pins (Pins 1 and 11)	$V_{OUT} + 16V$
Peak Output Current (200 ms)	6A
Continuous Output Current (Note 2)	3A
Power Dissipation (Note 3)	25W

Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$, Free Air)	3W
Junction Temperature, $T_{J(max)}$	150°C
ESD Susceptibility (Note 4)	1500V
Storage Temperature, T_{STG}	-40°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C

Operating Ratings (Note 1)

Junction Temperature, T_J	-40°C to +125°C
V_S Supply Voltage	+12V to +55V

Electrical Characteristics (Note 5)

The following specifications apply for $V_S = 42V$, unless otherwise specified. **Boldface** limits apply over the entire operating temperature range, $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, all other limits are for $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$.

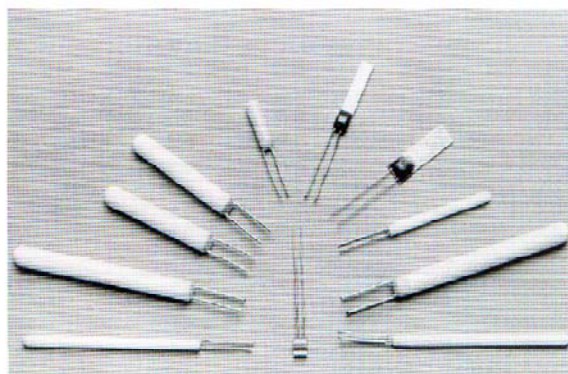
Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Limit	Units
$R_{DS(ON)}$	Switch ON Resistance	Output Current = 3A (Note 6)	0.33	0.4/ 0.6	Ω (max)
$R_{DS(ON)}$	Switch ON Resistance	Output Current = 6A (Note 6)	0.33	0.4/ 0.6	Ω (max)
V_{CLAMP}	Clamp Diode Forward Drop	Clamp Current = 3A (Note 6)	1.2	1.5	V (max)
V_{IL}	Logic Low Input Voltage	Pins 3, 4, 5		-0.1 0.8	V (min) V (max)
I_{IL}	Logic Low Input Current	$V_{IN} = -0.1V$, Pins = 3, 4, 5		-10	μA (max)
V_{IH}	Logic High Input Voltage	Pins 3, 4, 5		2 12	V (min) V (max)
I_{IH}	Logic High Input Current	$V_{IN} = 12V$, Pins = 3, 4, 5		10	μA (max)
	Current Sense Output	$I_{OUT} = 1A$ (Note 8)	377	325/ 300 425/ 450	μA (min) μA (max)
	Current Sense Linearity	$1A \leq I_{OUT} \leq 3A$ (Note 7)	± 6	± 9	%
	Undervoltage Lockout	Outputs turn OFF		9 11	V (min) V (max)
T_{JW}	Warning Flag Temperature	Pin 9 $\leq 0.8V$, $I_L = 2\text{ mA}$	145		$^\circ\text{C}$
$V_F(ON)$	Flag Output Saturation Voltage	$T_J = T_{JW}$, $I_L = 2\text{ mA}$	0.15		V
$I_F(OFF)$	Flag Output Leakage	$V_F = 12V$	0.2	10	μA (max)
T_{JSD}	Shutdown Temperature	Outputs Turn OFF	170		$^\circ\text{C}$
I_S	Quiescent Supply Current	All Logic Inputs Low	13	25	mA (max)
t_{Don}	Output Turn-On Delay Time	Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	300 300		ns ns
t_{on}	Output Turn-On Switching Time	Bootstrap Capacitor = 10 nF Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	100 80		ns ns
t_{Doff}	Output Turn-Off Delay Times	Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	200 200		ns ns
t_{off}	Output Turn-Off Switching Times	Bootstrap Capacitor = 10 nF Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	75 70		ns ns
t_{pw}	Minimum Input Pulse Width	Pins 3, 4 and 5	1		μs
t_{cpr}	Charge Pump Rise Time	No Bootstrap Capacitor	20		μs



LABFACILITY

TEMPERATURE & PROCESS TECHNOLOGY

- ◆ Precision platinum temperature sensors
- ◆ Pt100, Pt500, Pt1000 and other values available
- ◆ Available from stock
- ◆ Wire-wound and flat film types Wide range of sizes
- ◆ Tolerance values from Class B to 1/10 Class B
- ◆ Single or duplex detectors Specials available to order including alternative R_0 values and nickel resistors



Labfacility offers a wide range of precision platinum temperature sensing resistors in both wire-wound and flat film construction. All standard items are available in quantity from stock; non-standard detectors can be supplied to order.

Platinum **wire-wound detectors** comprise a pure platinum wire wound into a miniature spiral and located within axial holes in a high purity alumina rod. The freedom of movement of the platinum wire gives good long term stability and a wide operating temperature range of -200 to +800°C. Labfacility wire-wound detectors are cylindrical in shape and ideally suited for housing within a protective metal tube.

Although more expensive than flat film alternatives, wire-wound detectors have a wider temperature range (particularly below -50°C) and are readily available in close tolerance classes.

A range of alternative diameters and lengths is available. Duplex detectors containing two platinum resistors are also available.

Platinum **flat-film detectors** are produced by the deposition of a platinum film on to a flat ceramic substrate, the platinum being sealed to provide protection. Flat-film detectors are available in a range of sizes and are recommended for applications requiring small size, fast response to temperature changes, surface measurement, and resistance to vibration and shock. They are generally less expensive than wire-wound detectors, but the choice of tolerance classes is more limited.

In addition to the standard detectors listed in this data sheet, specials are available including other sizes, duplex detectors, alternative R_0 values, and nickel detectors to suit a wide range of applications.

LABFACILITY LIMITED

HEADQUARTERS:

LABFACILITY LTD, 8 Feltham Business Complex, Browells Lane, Feltham, Middlesex TW13 7LW

Tel: +44(0)208818188 Fax: +44(0)2088181881

NORTHERN DIVISION:

LABFACILITY LTD, Unit 7 Abbey Way, North Anston Trading Estate, Dinnington, Sheffield S31 7JL, UK.

Tel: +44(0)1909 569446 Fax: +44(0)1909 550632

SOUTHERN and EXPORT DIVISION:

LABFACILITY LTD, Unit 7 Southern Cross Industrial Estate Shripney Road, Bognor Regis, West Sussex PO22 9SD

Tel: +44(0)1243 871280 Fax: +44(0)1243 871281





SPECIFICATIONS

Sensor type Unless stated all detectors are Pt100 to BS EN60751:1996, BS1904:1984, DIN 43760:1980 and IEC 751:1983
Ro 100 Ohms
Temperature range Wire wound: -200 to +800°C
Flat film: -50°C to maximum value shown below.

Resistance v temperature and tolerances for Pt100 thermometers to IEC 751

Temperature Resistance		Tolerance		Temperature Resistance		Tolerance	
(°C)	(Ω)	Class A (±°C) (±Ω)	Class B (±°C) (±Ω)	(°C)	(Ω)	Class A (±°C) (±Ω)	Class B (±°C) (±Ω)
-200	18.52	0.55 0.24	1.3 0.56	500	280.98	1.15 0.38	2.8 0.93
-100	60.26	0.35 0.14	0.8 0.32	600	313.71	1.35 0.43	3.3 1.06
0	100.00	0.15 0.06	0.3 0.12	650	329.74	1.45 0.46	3.6 1.13
100	138.51	0.35 0.13	0.8 0.30	700	345.28	— —	3.8 1.17
200	175.86	0.55 0.20	1.3 0.48	800	375.70	— —	4.3 1.28
300	212.05	0.75 0.27	1.8 0.64	850	390.48	— —	4.6 1.34
400	247.09	0.95 0.33	2.3 0.79				

Tolerances

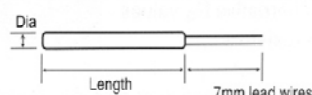
Class B $\pm(0.3^{\circ}\text{C} + 0.005t)$
Class A $\pm(0.15^{\circ}\text{C} + 0.002t)$
Where t is the measured temperature
1/3 Class B $\pm(0.1^{\circ}\text{C} \text{ at } 0^{\circ}\text{C})$
1/5 Class B $\pm(0.06^{\circ}\text{C} \text{ at } 0^{\circ}\text{C})$
1/10 Class B $\pm(0.03^{\circ}\text{C} \text{ at } 0^{\circ}\text{C})$
Note: 1/3, 1/5 and 1/10 Class B
Tolerances apply at 0°C

Specifications may be subject to change

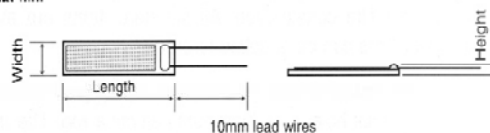
Dimensions

Individual dimensions are given in Order Codes & Dimensions below.

Wire Wound



Flat-film



Order Codes and Dimensions

Wire Wound Detectors, PT100

Dimensions Dia x length (mm)	Tolerance Class	Specification No.	Order Code
2.8 x 25	B	P100/2528 B	DA-016
2.8 x 25	A	P100/2528 A	DA-017
2.8 x 25	1/3	P100/2528 1/3	DA-018
2.8 x 25	1/5	P100/2528 1/5	DA-019
2.8 x 25	1/10	P100/2528 1/10	DA-020
1.5 x 25	B	P100/2515 B	DA-026
2.8 x 15	B	P100/1528 B	DA-041
2.8 x 15	A	P100/1528 A	DA-042
2.8 x 15	1/3	P100/1528 1/3	DA-043
2.8 x 15	1/5	P100/1528 1/5	DA-044
2.8 x 15	1/10	P100/1528 1/10	DA-045
2.4 x 15	B	P100/1524 B	DA-046
1.6 x 15	B	P100/1516 B	DA-056
1.5 x 15	B	P100/1515 B	DA-061
1.5 x 15	A	P100/1515 A	DA-062
1.5 x 15	1/3	P100/1515 1/3	DA-063
1.5 x 15	1/5	P100/1515 1/5	DA-064
1.5 x 15	1/10	P100/1515 1/10	DA-065
0.8 x 15	B	P100/0815 B	DA-081
0.8 x 15	A	P100/0815 A	DA-082
0.8 x 15	1/3	P100/0815 1/3	DA-083
0.8 x 15	1/5	P100/0815 1/5	DA-084
0.8 x 15	1/10	P100/0815 1/10	DA-085

Flat-film detectors, Pt100 and Pt1000

Sensor type	Dimensions WxLxH (mm)	Tolerance Class	Max temperature (°C)	Order Code
Pt100Ω	2 x 5 x 1.1	B	500	DM-503
Pt100Ω	2 x 5 x 1.1	A	400	DM-508
Pt100Ω	1.7 x 5 x 1.1	B	600	DM-385
Pt100Ω	2 x 10 x 1.4	B	600	DM-333
Pt100Ω	2 x 10 x 1.4	A	400	DM-334
Pt1000Ω	2 x 10 x 1.1	B	500	DM-507
Pt1000Ω	2 x 10 x 1.4	B	600	DM-367

Class A and B detectors are readily available from stock.

When ordering alternative tolerance devices please call to first to confirm availability.

For sizes and types not listed, contact sales office

Labfacility manufactures and stocks a wide range of RTD probes



LABFACILITY LIMITED

HEADQUARTERS:

LABFACILITY LTD, 8 Feltham Business Complex, Browells Lane, Feltham, Middlesex TW13 7LW Tel: +44(0)208818188 Fax: +44(0)2088181881

NORTHERN DIVISION:

LABFACILITY LTD, Unit 7 Abbey Way, North Anston Trading Estate, Dinnington, Sheffield S31 7JL, UK. Tel: +44(0)1909 569446 Fax: +44(0)1909 550632

SOUTHERN and EXPORT DIVISION:

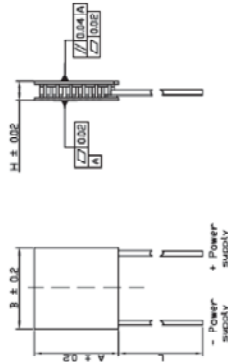
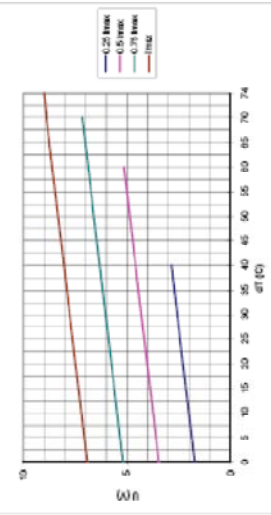
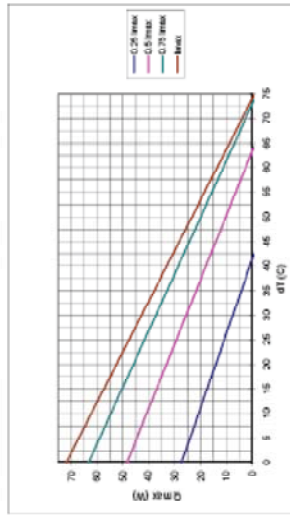
LABFACILITY LTD, Unit 7 Southern Cross Industrial Estate Shripney Road, Bognor Regis, West Sussex PO22 9SD
Tel: +44(0)1243 871280 Fax: +44(0)1243 871281;

ET-071-20-15-RS

4901345

		T _{hot} =27 °C (300 °K)		Dimensions, mm			
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	ΔT _{max} , K	R _{ac} , Ohm	A	B	H
13.1	8.8	71.9	74	0.57	40	40	4.6
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5			n/a

Max. dT is obtained by 2-3K for different tested and 1-2K for typical tested versions.



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max}, V_{max} and ΔT=0°C
Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max}, V_{max} and Q=0W
Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at 25°C
Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P
The solder melting point of thermoelectric module 140°C
Recommended maximum compression (not destruction limit) 1000Kpa

Recommendations

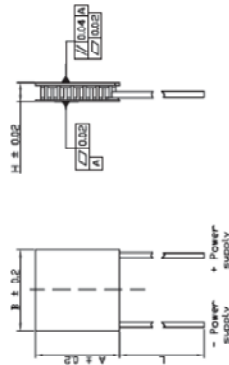
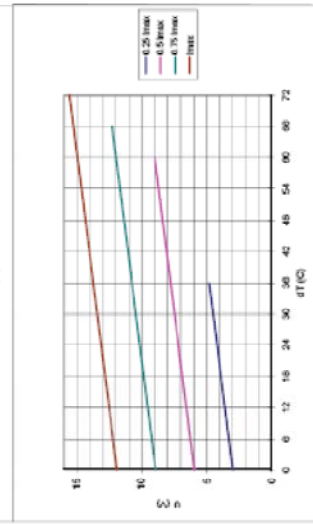
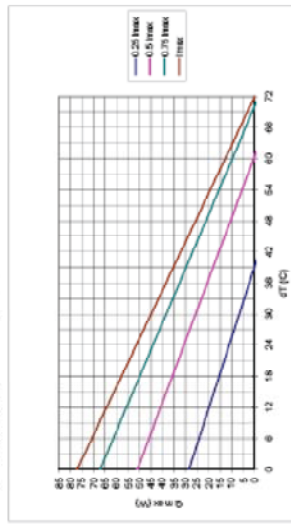
High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
Operation temperature up to 50 °C for long lifetime, up to 1-10 °C for short periods
With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ET-127-14-11-RS

4901373

T _{Hot} =27 °C (300 °K)					Dimensions, mm			
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	ΔT _{max} , °C	R _{ac} , Ohm	A	B	H	d
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	40	40	3.8	n/a
8.5	±5.7	77.1	72	1.59				

Max ΔT is measured by 2.5K for silicon cooled and 1.5K for epoxy cooled variants.



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}

Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}

Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max}, V_{max} and ΔT=0°C

Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max}, V_{max} and Q=0W

Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at 25 °C

Maximum parameters are measured in a vacuum 1,3P

The solder melting point of thermoelectric module 140°C

Recommended maximum compression (not destruction limit) 1000Kpa

Recommendations

High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity

Operation temperature up to 90°C for long lifetime; up to 110°C for short periods

With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible

Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling

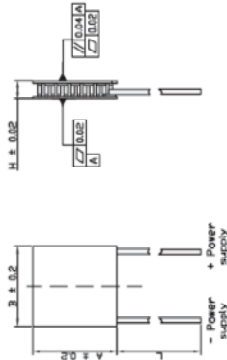
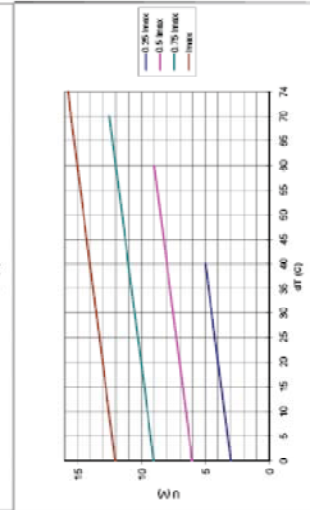
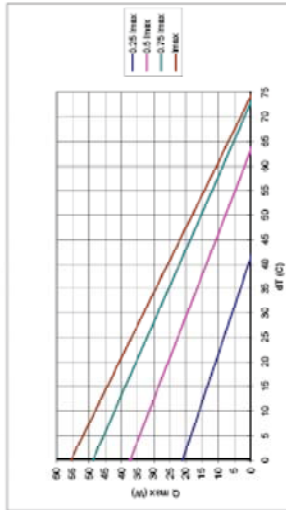
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ET-127-14-15-RS

4901395

Imax, A	Umax, V	Qmax, W	dTmax, K	Rec, Ohm	Dimensions, mm			
					A	B	H	d
6	15.7	55.6	74	2.5	40	40	3.9	n/a
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5				

Max. dT is reduced by 2.5K for others tested and 5.0K for empty sealed versions



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max} , V_{max} and $\Delta T = 0^\circ C$
 Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max} , V_{max} and $Q = 0W$
 Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at $25^\circ C$
 Maximum parameters are measured in a vacuum 13P
 The solder melting point of thermoelectric module $<40^\circ C$
 Recommended maximum compression (ext destruction limit) 1000kpa

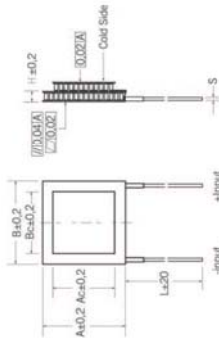
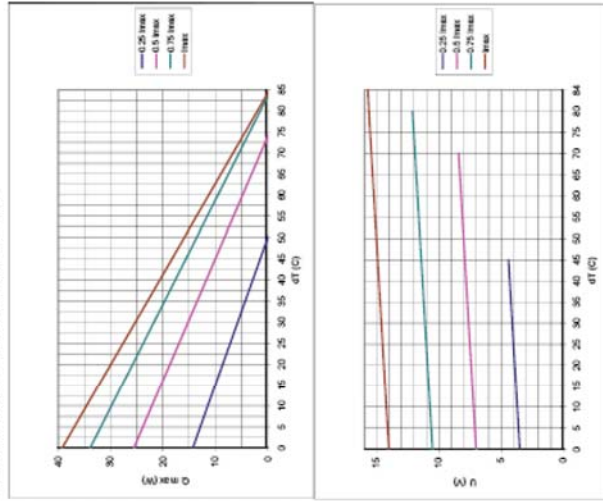
Recommendations
 High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperature up to $90^\circ C$ for long lifetime, up to $110^\circ C$ for short periods
 With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
 Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ET-192-1420-1118-RS

4901452

Imax, A	Umax, V	T _{Hot} =27 °C (300 °K)		dT _{max} , K	Rac, Ohm	Dimensions, mm		
		Q _{max} , W	Q _{max} , W			A	B	H
Note 1	Note 2	Note 3	Note 3	Note 4	Note 5	40	40	8.1
6.7	15.6	39.3	84	84	2.24	40	40	8.1
								n/a

Max dT is obtained by 2-3K for silicon sealed and 1-2K for epoxy sealed versions.



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max} , V_{max} and $\Delta T = 0^\circ C$
Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max} , V_{max} and $Q = 0W$
Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at $25^\circ C$
Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3p
The solder melting point of thermoelectric module $140^\circ C$
Recommended maximum compression (not destruction limit) 1000Kpa

Recommendations

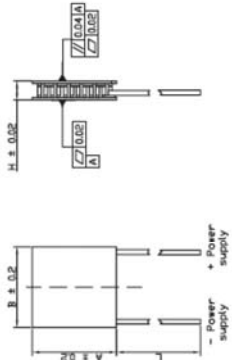
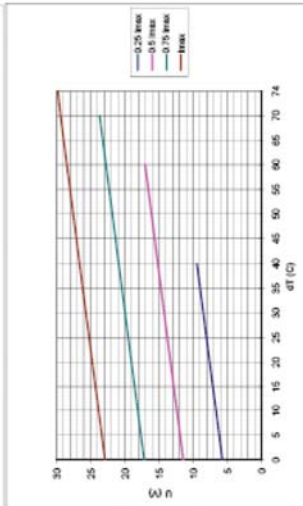
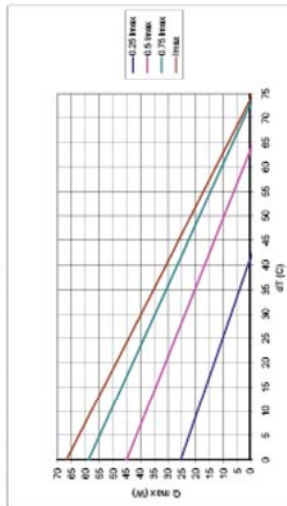
High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
Operation temperature up to $90^\circ C$ for long lifetime, up to $110^\circ C$ for short periods
With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
Use in cooling mode only
Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ET-241-10-13-RS

4901468

T _{hot} =27 °C (300 °K)				Dimensions, mm			
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	dT _{max} , K	R _{ac} , Ohm	A	B	H
3.9	29.8	66.8	74	6.9	40	40	3.6
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5			n/a

Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}



Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}

Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max}, U_{max} and $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$

Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max}, U_{max} and Q=0W

Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at 25 °C

Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P

The solder melting point of thermoelectric module 140°C

Recommended maximum compression (not destruction limit) 1000Kpa

Recommendations

High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity

Operation temperature up to 90°C for long lifetime; up to 110°C for short periods

With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible

Preferable application; high cooling capacity at high temperatures / cycling

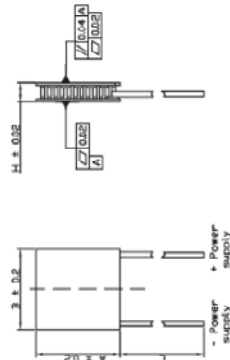
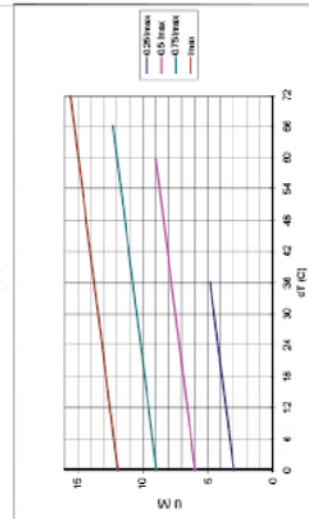
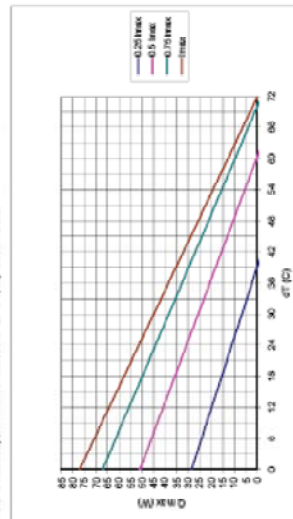
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ETH-127-14-11-S-RS

4901525

Imax, A	Unax, V	T _{hot} -27 °C (300 °K)		Rac, Ohm	Dimensions, mm			
		Q _{max} , W	ΔT _{max} , K		A	B	H	d
Note 1	Note 2	77.1	72	1.59	40	40	3.8	n/a
		Note 3	Note 4	Note 5				

Max. ΔT is calculated by 2.5K for different rated and 1.2K for square rated modules.



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}

Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}

Note 3 - Maximum cooling capacity at Imax, Vmax, and ΔT = 0°C

Note 4 - Maximum temperature difference at Imax, Vmax, and Q = 0W

Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at 25 °C

Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P

The solder melting point of thermoelectric module 232°C

Recommended maximum compression (not destruction limit) 1000Kpa

Recommendations

High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity

Operation temperature up to 90°C for long lifetime; up to 110°C for short periods

With operation current close to 0.5 Imax extremely high COP (coefficient of performance) is possible

Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling

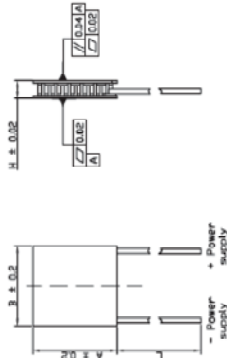
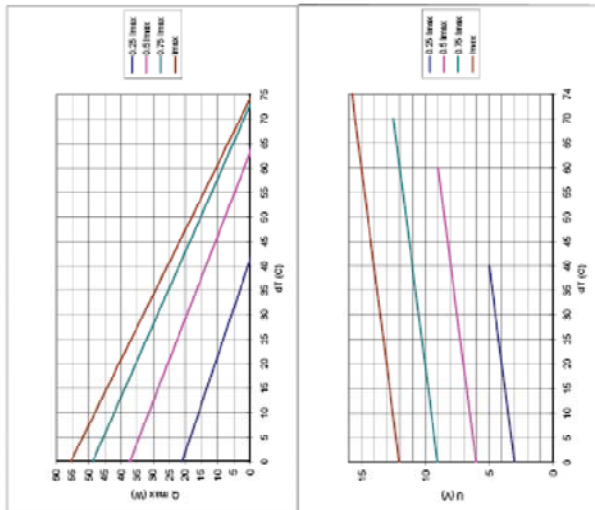
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ETH-127-14-15-RS

4901531

Imax, A	Umax, V	Qmax, W	dT max, K	Rac, Ohm	Dimensions, mm		
					A	B	H
6	15.7	55.6	74	2.5	40	40	3.9
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5			n/a

Max dT is reduced by 0.40 for different ambient and 0.80 for water cooled versions.



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max} , V_{max} and $\Delta T = 0^\circ C$
Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max} , V_{max} and $Q = 0W$
Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at $25^\circ C$
Maximum parameters are measured in a vacuum 13P
The solder melting point of thermoelectric module $232^\circ C$
Recommended maximum compression (not destruction limit) 1000Kpa

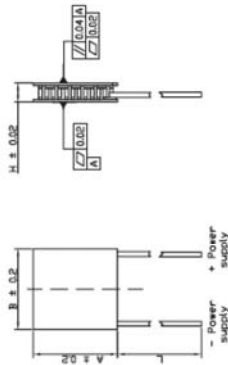
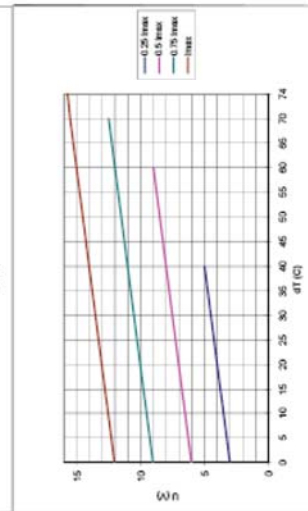
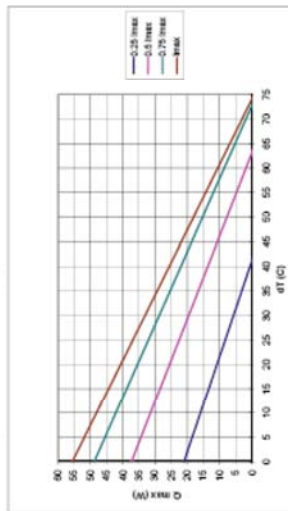
Recommendations
High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
Operation temperature up to $90^\circ C$ for long lifetime, up to $110^\circ C$ for short periods
With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
Pre-able application: high cooling capacity at high temperatures / cycling
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ETH-127-14-15-S-RS

4901547

T _{hot} =27 °C (300 °K)				Dimensions, mm			
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	dT _{max} , K	R _{ac} , Ohm	A	B	H
6	15.7	55.6	74	2.5	40	40	3.9
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5			n/a

Max. dT is evaluated by 2.5K for all items tested and 1.5K for every tested variation.



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}

Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}

Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max}, V_{max} and $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$

Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max}, V_{max} and Q = 0W

Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at 25 °C

Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P

The solder melting point of thermoelectric module 232 °C

Recommended maximum compression (not destruction limit) 1000Kpa

Recommendations

High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity

Operation temperature up to 90 °C for long lifetime; up to 110 °C for short periods

With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible

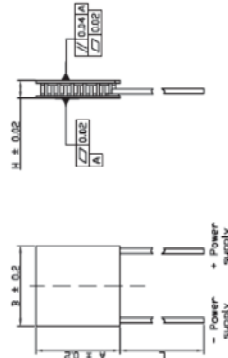
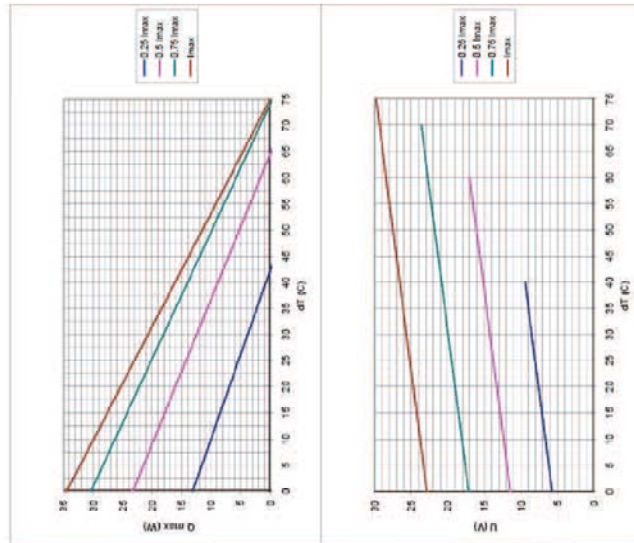
Preferable application; high cooling capacity at high temperatures / cycling

Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ET-241-10-25-E

6935129

Thot=27 °C (300 °K)					Dimensions, mm			
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	dT _{max} , K	R _{ac} , Ohm	A	A1	B	H
2	29.8	34.5	75	12.7	40	40	40	4.8
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5				n/a



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max} , V_{max} and $\Delta T = 0^\circ C$
 Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max} , V_{max} and $Q = QW$
 Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at $25^\circ C$
 Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P
 The solder melting point of thermoelectric module $>40^\circ C$
 Recommended maximum compression (not destruction limit) 1500Kpa
 Max. ΔT is reduced by 2 - 3K for silicone coated and 1 - 2K for epoxy sealed versions

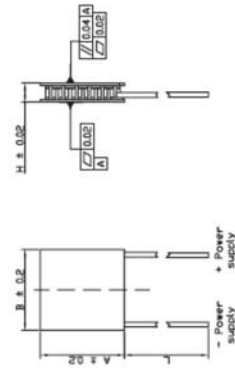
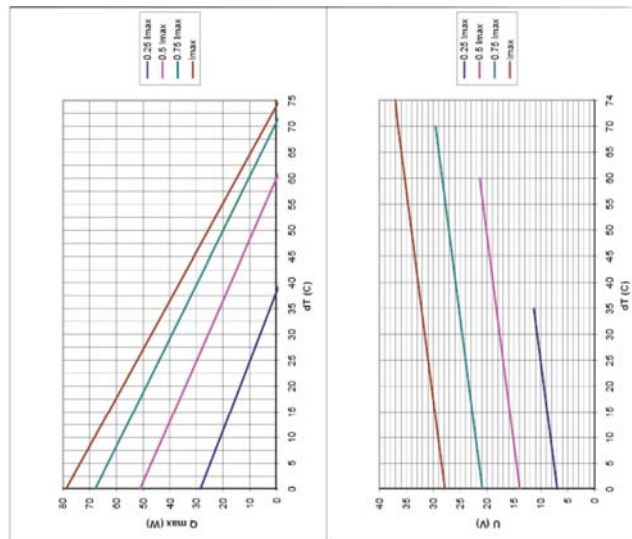
Recommendations

High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperature up to $90^\circ C$ for long lifetime, up to $110^\circ C$ for short periods
 With operation current close to $0.5 I_{max}$ extremely high COP (coefficient of performance) is possible
 Probable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ET-287-10-13-E

6935123

Thot=27 °C (300 °K)					Dimensions, mm				
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	αT _{max} , K	R _{αC} , Ohm	A	A1	B	H	d
3.9	35.5	85.6	74	8.1	40	40	40	3.6	n/a
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5					



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max}, V_{max} and $\Delta T = 0^\circ\text{C}$
 Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max}, V_{max} and Q=0W
 Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at 25 °C

Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P
 The solder melting point of thermoelectric module 140°C
 Recommended maximum compression (not destruction limit) 1500Kpa
 Max ΔT is reduced by 2 – 3K for silicone coated and 1 – 2K for epoxy sealed versions

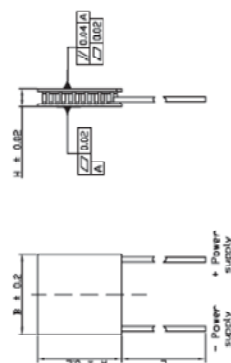
Recommendations
 High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperature up to 90°C for long lifetime; up to 110°C for short periods
 With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
 Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling

Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ET-161-12-08-E

6935107

Thot=27°C (300°K)					Dimensions, mm			
Imax, A	Umax, V	Qmax, W	dfmax, K	Rac, Ohm	A	A1	B	H
8.5	20	100	71	2	40	40	40	3.3
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5				n/a



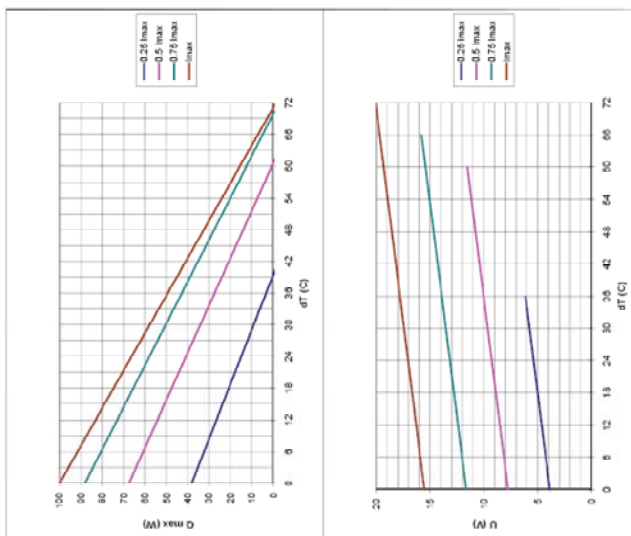
Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max} , V_{max} and $\Delta T = 0^\circ C$
 Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max} , V_{max} and $Q = 0W$
 Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at $25^\circ C$

Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3p
 The solder melting point of thermoelectric module $140^\circ C$
 Recommended maximum compression (not destruction limit) 1500kpa
 Max ΔT is reduced by 2 - 3K for silicone coated and 1 - 2K for epoxy sealed versions

Recommendations

High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperature up to $90^\circ C$ for long lifetime, up to $110^\circ C$ for short periods
 With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
 Preferable application, high cooling capacity at high temperatures / cycling

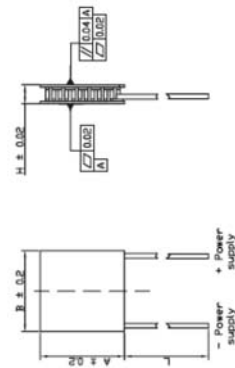
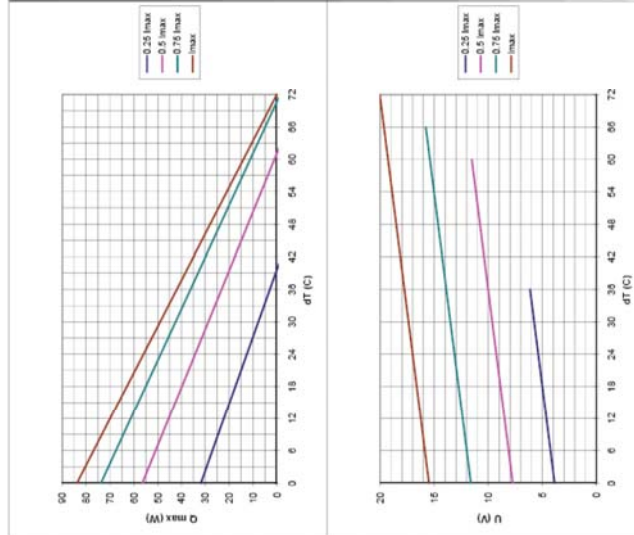
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification



ET-161-12-10-E

6935101

T _{tot} =27 °C (300 °K)					Dimensions, mm				
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	dT _{max} , K	R _{ac} , Ohm	A	A1	B	H	d
6.7	20	83.9	72	2.5	40	40	40	3.3	n/a
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5					



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max} , V_{max} and $\Delta T=0^{\circ}C$
 Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max} , V_{max} and $Q=0W$
 Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at $25^{\circ}C$

Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P
 The solder melting point of thermoelectric module $140^{\circ}C$
 Recommended maximum compression (not destruction limit) 1500Kpa
 Max ΔT is reduced by 2 – 3K for silicone coated and 1 – 2K for epoxy sealed versions

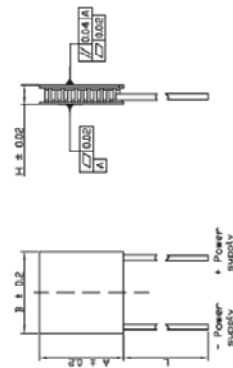
Recommendations
 High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperature up to $50^{\circ}C$ for long lifetime, up to $110^{\circ}C$ for short periods
 With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
 Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling

Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ET-161-12-14-E

6935110

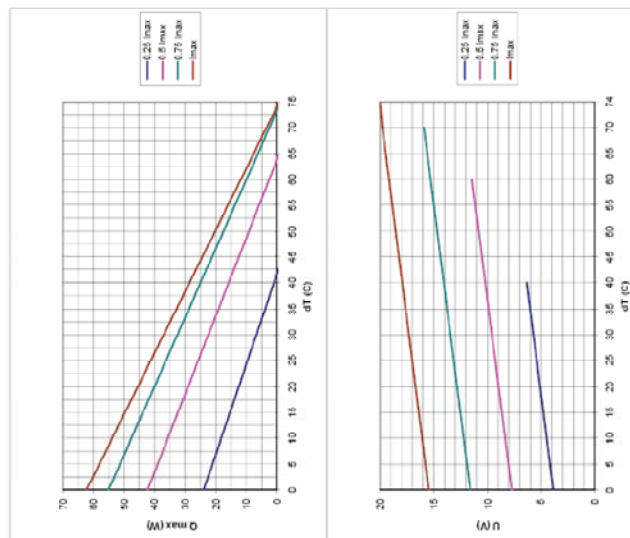
Thote-27 °C (300 °K)					Dimensions, mm				
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	dT _{max} , K	R _{ac} , Ohm	A	A1	B	H	d
5	20	62.3	74	3.45	40	40	40	3.7	n/a
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5					



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max}, U_{max} and $\Delta T = 0^\circ\text{C}$
 Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max}, U_{max} and C=0W
 Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at 25°C
 Maximum parameters are measured in a vacuum 1,3P
 The solder melting point of thermoelectric module 140°C
 Recommended maximum compression (not destruction limit) 1500Kpa
 Max ΔT is reduced by 2 – 3K for silicone coated and 1 – 2K for epoxy sealed versions

Recommendations

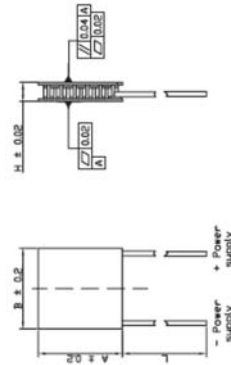
High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperatures up to 90°C for long lifetime; up to 110°C for short periods
 With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
 Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling
 Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification



ET-161-12-16-E

6935113

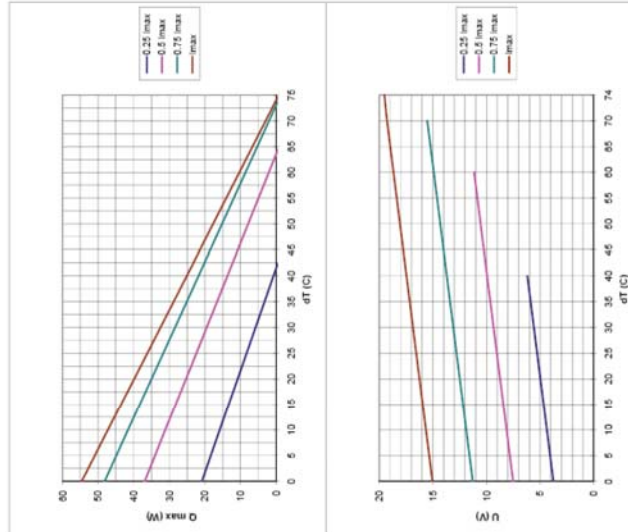
Thot=27 °C (300 °K)					Dimensions, mm			
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	dT _{max} , K	R _{ac} , Ohm	A	A1	B	H
4,4	20	54,6	74	3,93	40	40	40	3,9
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5				



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max}, V_{max} and $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$
 Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max}, V_{max} and Q=0W
 Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at 25°C
 Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P
 The solder melting point of thermoelectric module 140°C
 Recommended maximum compression (not destruction limit) 1500Kpa
 Max ΔT is reduced by 2 – 3K for silicone coated and 1 – 2K for epoxy sealed versions

Recommendations

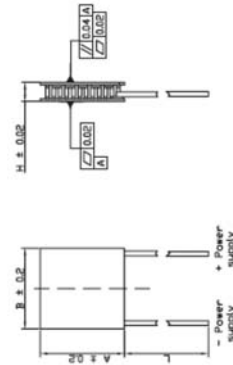
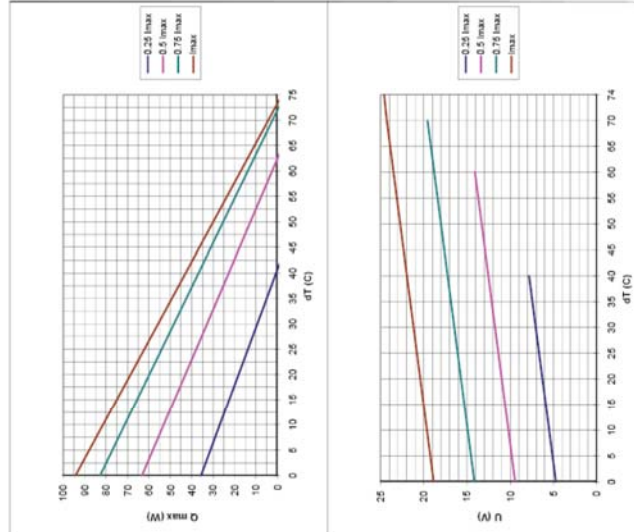
High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperature up to 90°C for long lifetime, up to 110°C for short periods
 With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
 Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification



ET-199-14-15-E

6935117

T _{hot} =27 °C (300 °K)					Dimensions, mm				
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	dT _{max} , K	R _{ac} , Ohm	A	A1	B	H	d
6	24,6	94,3	74	3,52	40	40	40	3,9	n/a
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5					



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max}, V_{max} and $\Delta T=0^{\circ}C$
 Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max}, V_{max} and Q=0W
 Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at 25°C

Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P
 The solder melting point of thermoelectric module 140°C
 Recommended maximum compression (not destruction limit) 1500Kpa
 Max ΔT is reduced by 2 – 3K for silicone coated and 1 – 2K for epoxy sealed versions

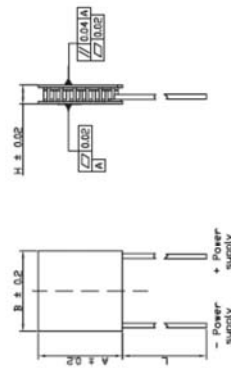
Recommendations
 High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperature up to 90°C for long lifetime, up to 110°C for short periods
 With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
 Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling

Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification

ET-199-14-11-E

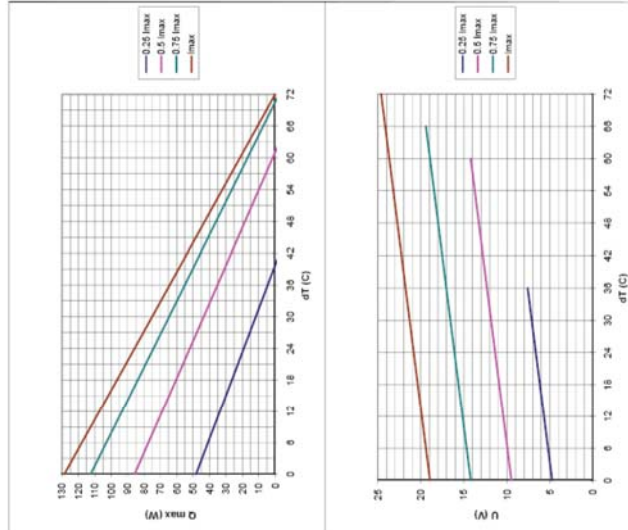
6935126

Thot=27 °C (300 °K)					Dimensions, mm			
Imax, A	Umax, V	Qmax, W	dTmax, K	Rac, Ohm	A	A1	B	H
8.5	24.6	128.6	72	2.44	40	40	40	3.8
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5				n/a



Note 1 - Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 - Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 - Maximum cooling capacity at I_{max} , V_{max} and $\Delta T = 0^\circ C$
 Note 4 - Maximum temperature difference at I_{max} , V_{max} and $Q = 0W$
 Note 5 - Measured by AC 4-terminal method at $25^\circ C$
 Maximum parameters are measured in a vacuum 1.3P
 The solder melting point of thermoelectric module $140^\circ C$
 Recommended maximum compression (not destruction limit) 1500Kpa
 Max ΔT is reduced by 2 – 3K for silicone coated and 1 – 2K for epoxy sealed versions

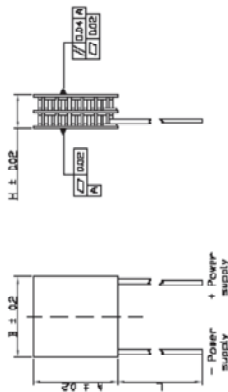
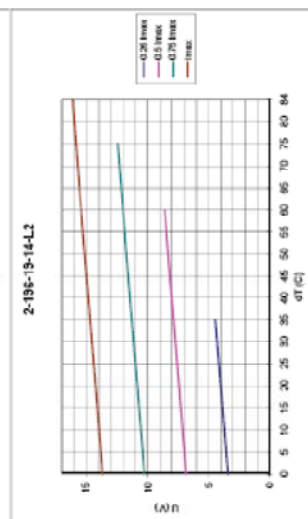
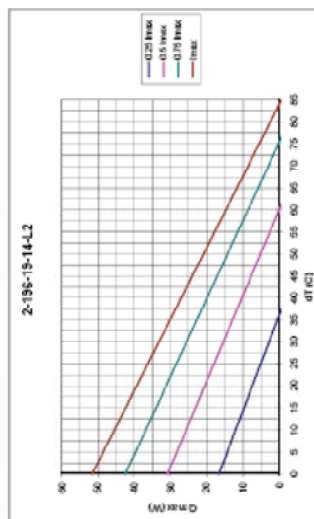
Recommendations
 High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperature up to $90^\circ C$ for long lifetime, up to $110^\circ C$ for short periods
 With operation current close to 0.5 I_{max} extremely high COP (coefficient of performance) is possible
 Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification



ET2-196-19-14

6935075

T _{tot} =27 °C [300 °K]					Dimensions, mm				
I _{max} , A	U _{max} , V	Q _{max} , W	dI _{max} , K	R _{ac} , Ohm	A	A1	B	H	d
8.5	16.1	51.6	84	1.65	40	40	40	7	n/a
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5					



Note 1 : Maximum current at ΔT_{max}
 Note 2 : Maximum voltage at ΔT_{max}
 Note 3 : Maximum cooling capacity at I_{max} , V_{max} and $\Delta T = 0^\circ C$
 Note 4 : Maximum temperature difference at I_{max} , V_{max} and $Q = 0W$
 Note 5 : Measured by AC 4-terminal method at $25^\circ C$
 Maximum parameters are measured in a vacuum $10^{-3} Pa$
 The solder melting point of thermoelectric module $< 40^\circ C$
 Recommended maximum compression (not destruction limit) 1000Kpa
 Max ΔT is reduced by 2 – 3K for silicone coated and 1 – 2K for epoxy sealed versions
Recommendations
 High cooling capacity from a small surface and long lifetime in power cycling applications with change of current polarity
 Operation temperature up to $90^\circ C$ for long lifetime; up to $110^\circ C$ for short periods
 Recommended operation current not higher than $0.7 I_{max}$
 Use in cooling mode only
 Preferable application: high cooling capacity at high temperatures / cycling
Revision of these specifications is carried out after consent. We reserve the right to make changes without notification



PLANOS



Diseño electrónico

El sistema electrónico se ha implementado mediante el software Cadence Orcad, realizando un diseño jerárquico partiendo de un sistema principal dividido en tres etapas principales y sus circuitos auxiliares.

La primera será la etapa de control, encargada de generar la señal PWM que determinará el control del disparo de la etapa de potencia, fijando de esta forma la tensión aplicada al Peltier.

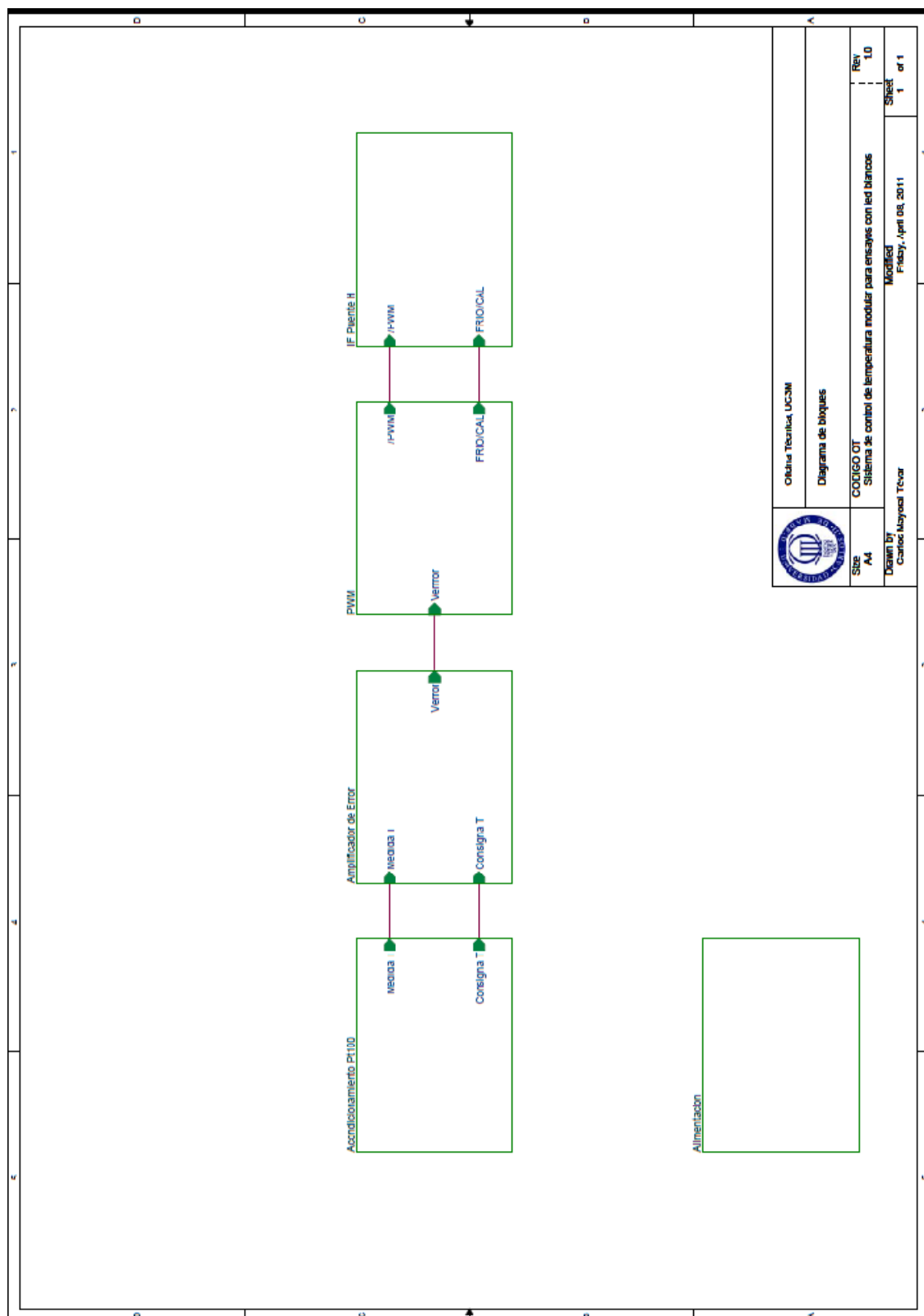
Esta etapa dará paso al driver LMD18200, que como se observa en los planos se ha implementado mediante un diseño jerárquico en el que se contemplan los seis dispositivos empleados en la etapa de potencia.

Dado que es un integrado de función específica para el control de dispositivos de corriente continua en parámetros como el sentido de giro, no ha sido necesaria la implementación de una lógica adicional para sustentar el diseño.

Por último encontramos la etapa correspondiente al actuador térmico, en la que a nivel eléctrico únicamente intervendrán dos componentes, el Peltier y el ventilador que forzará la expulsión de calor del sistema. El primero será alimentado por el circuito que le precede y el segundo dispondrá de una alimentación independiente dado que se utilizará a un régimen de trabajo constante.

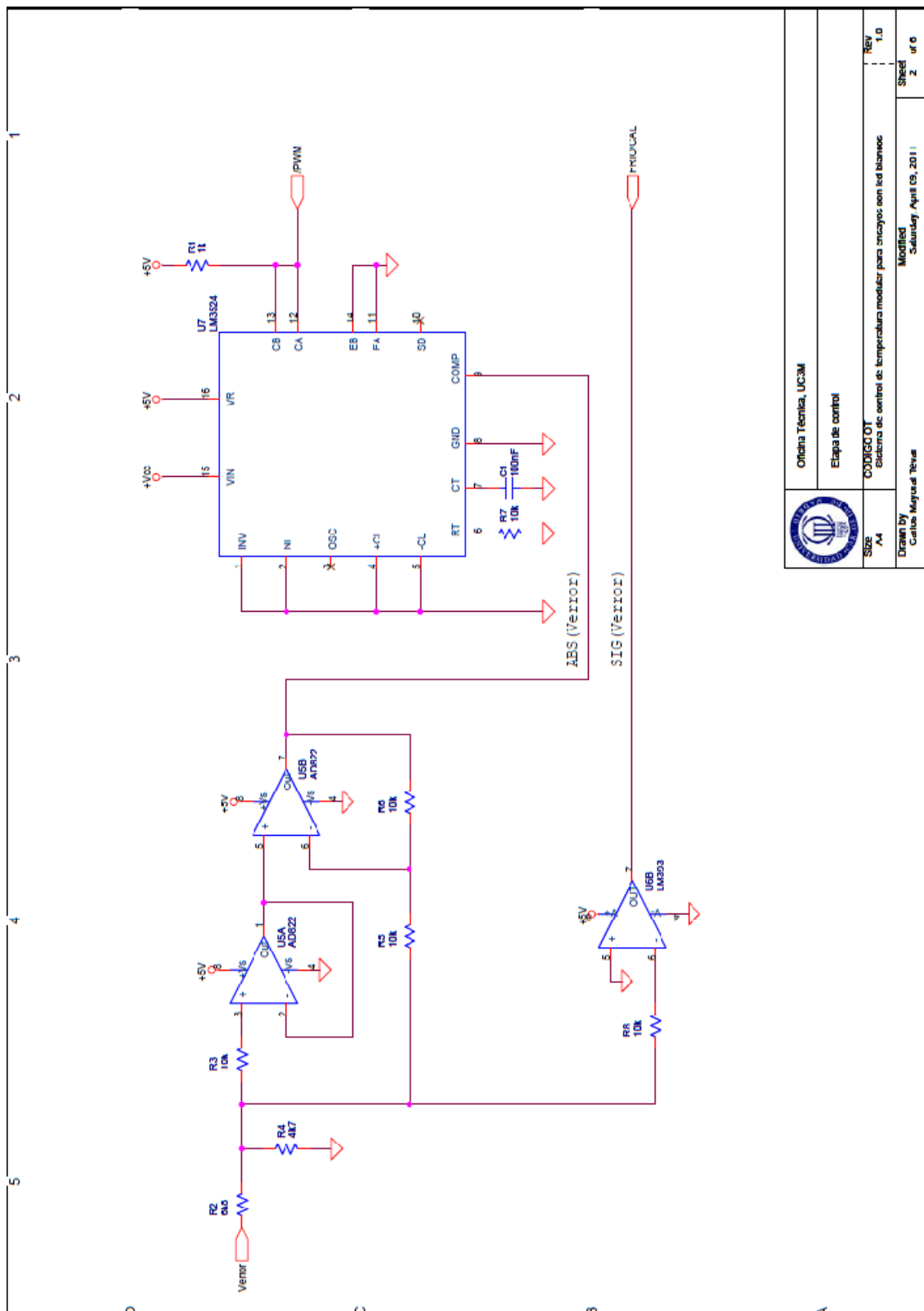


SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA MODULAR PARA ENSAYOS CON LED BLANCOS

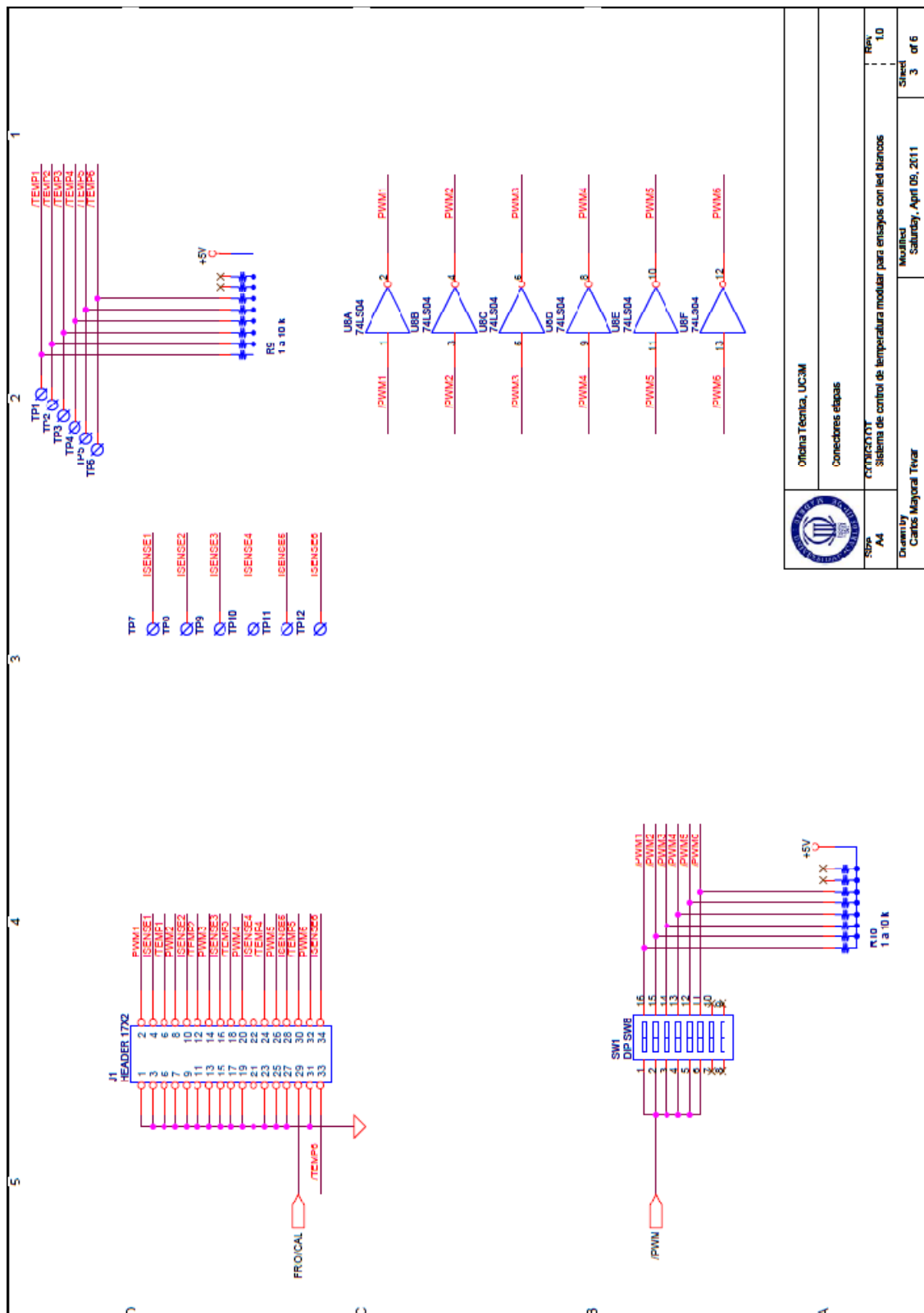





SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA MODULAR PARA ENSAYOS CON LED BLANCOS



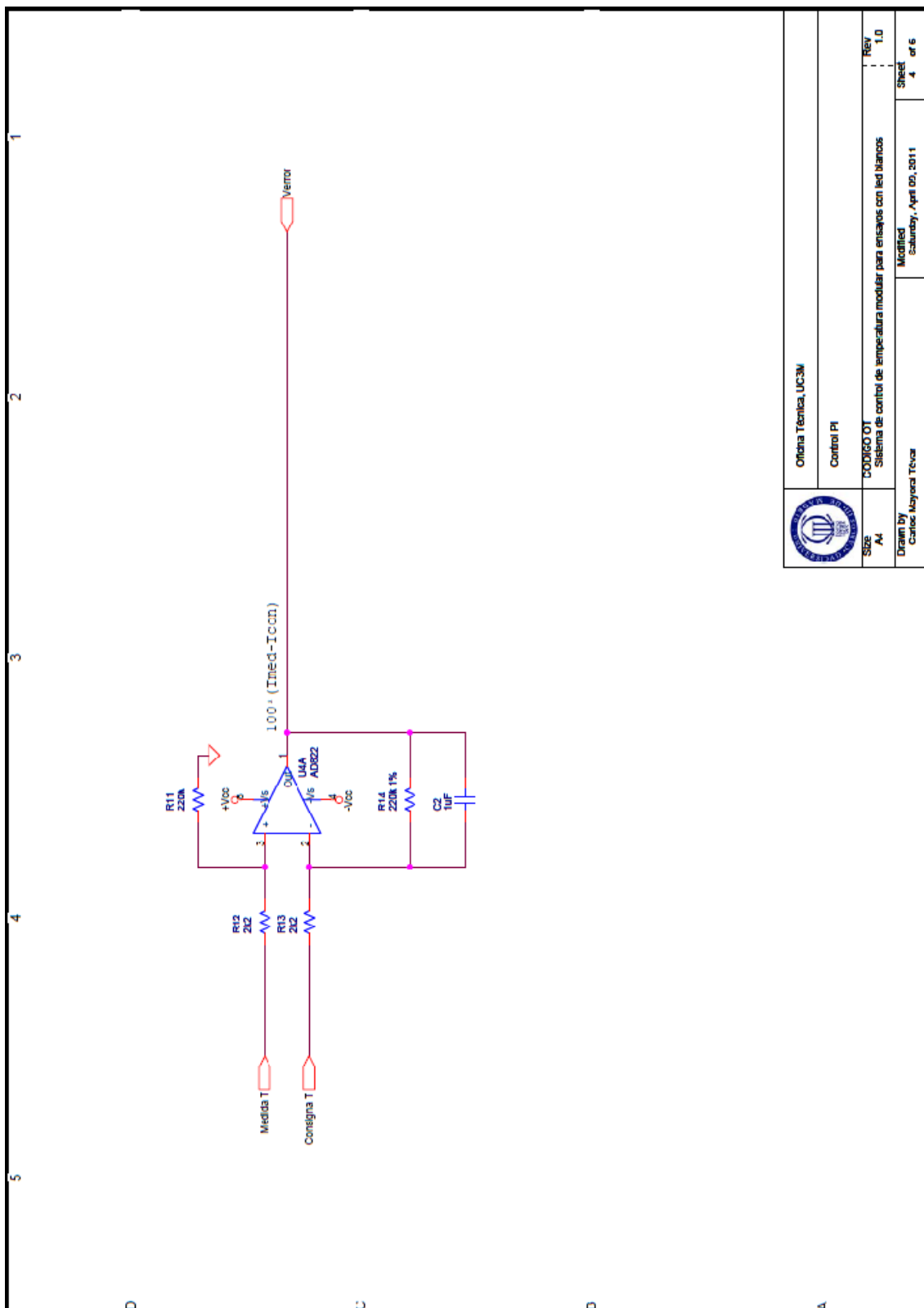
		Oficina Técnica, UC3M	
		Etapas de control	
Size A4	CODIGO OT Sistema de control de temperatura modular para ensayos con led blancos	Rev 1.0	Rev 1.0
Drawn by Cecilia Mujica Tenes	Modified Solanberry April 09, 2011	Sheet 2	of 6



		Oficina Técnica, UC3M Conexiones etapas	
Versión A4	CORRESPONDENCIA Sistema de control de temperatura modular para ensayos con led blancos	Modificado Saturday, April 09, 2011	Revisión 1.0
Diseñado por Carlos Mayoral Trivar		Selecciones 3 of 6	



SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA MODULAR PARA ENSAYOS CON LED BLANCOS



Oficina Técnica, UC3M	
Control PI	
Size A1	Rev 1.0
CODIGO 01 Sistema de control de temperatura modular para ensayos con led blancos	
Drawn by Carlos Mayora Tévez	Modified Schumbay, April 00, 2011
Sheet 4 of 6	



SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA MODULAR
PARA ENSAYOS CON LED BLANCOS

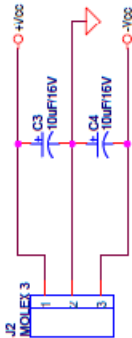
1

2

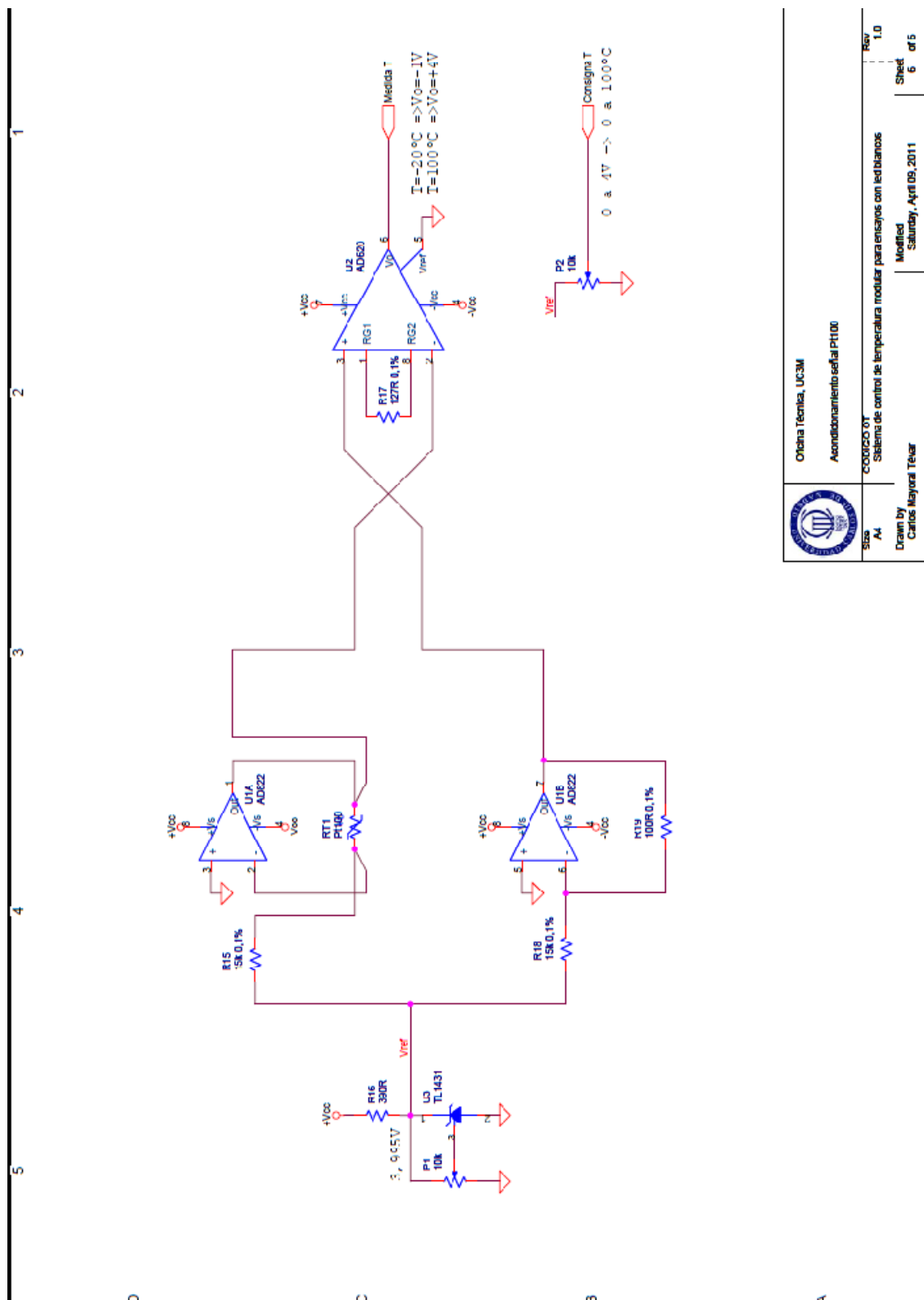
3

4

5

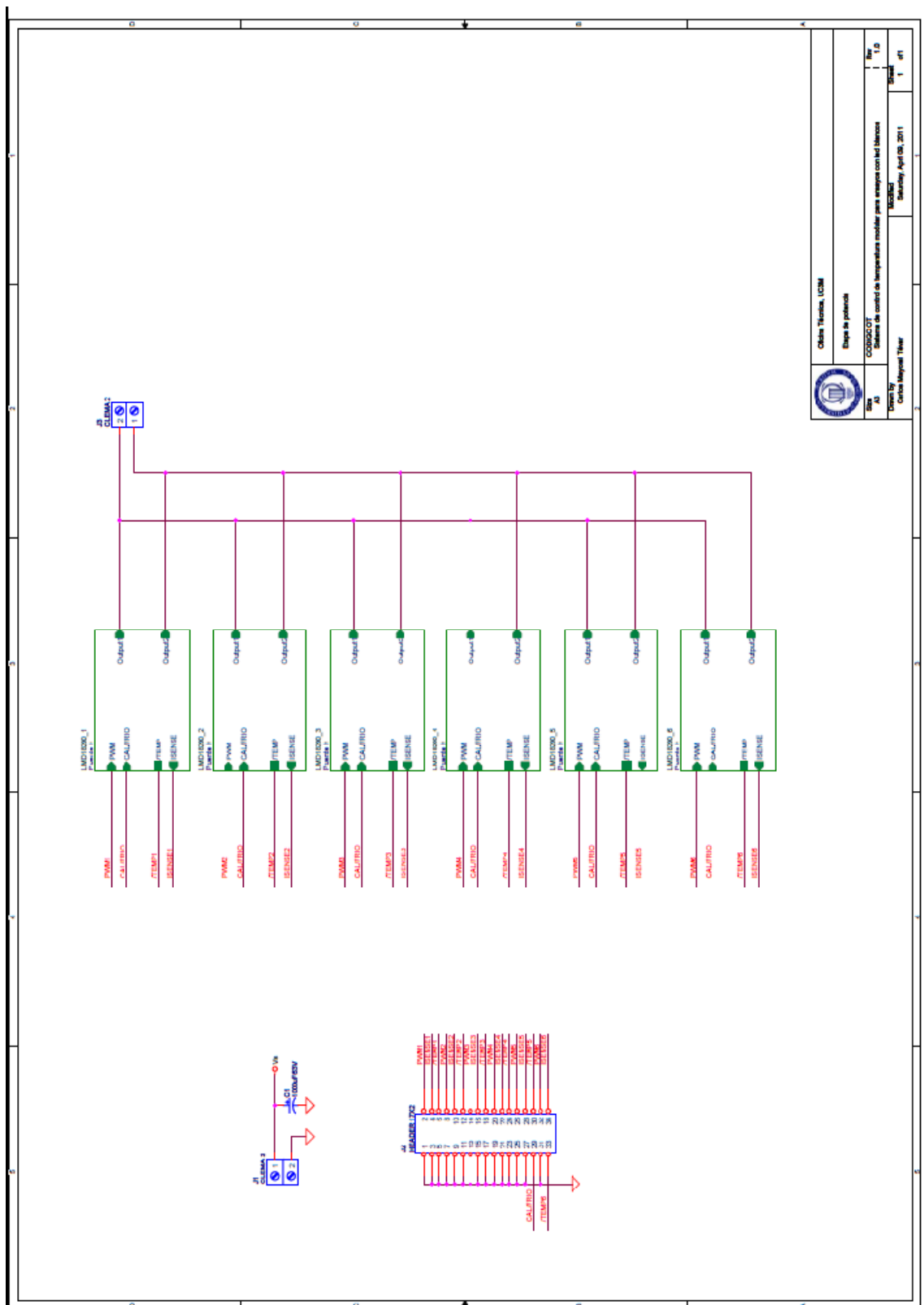


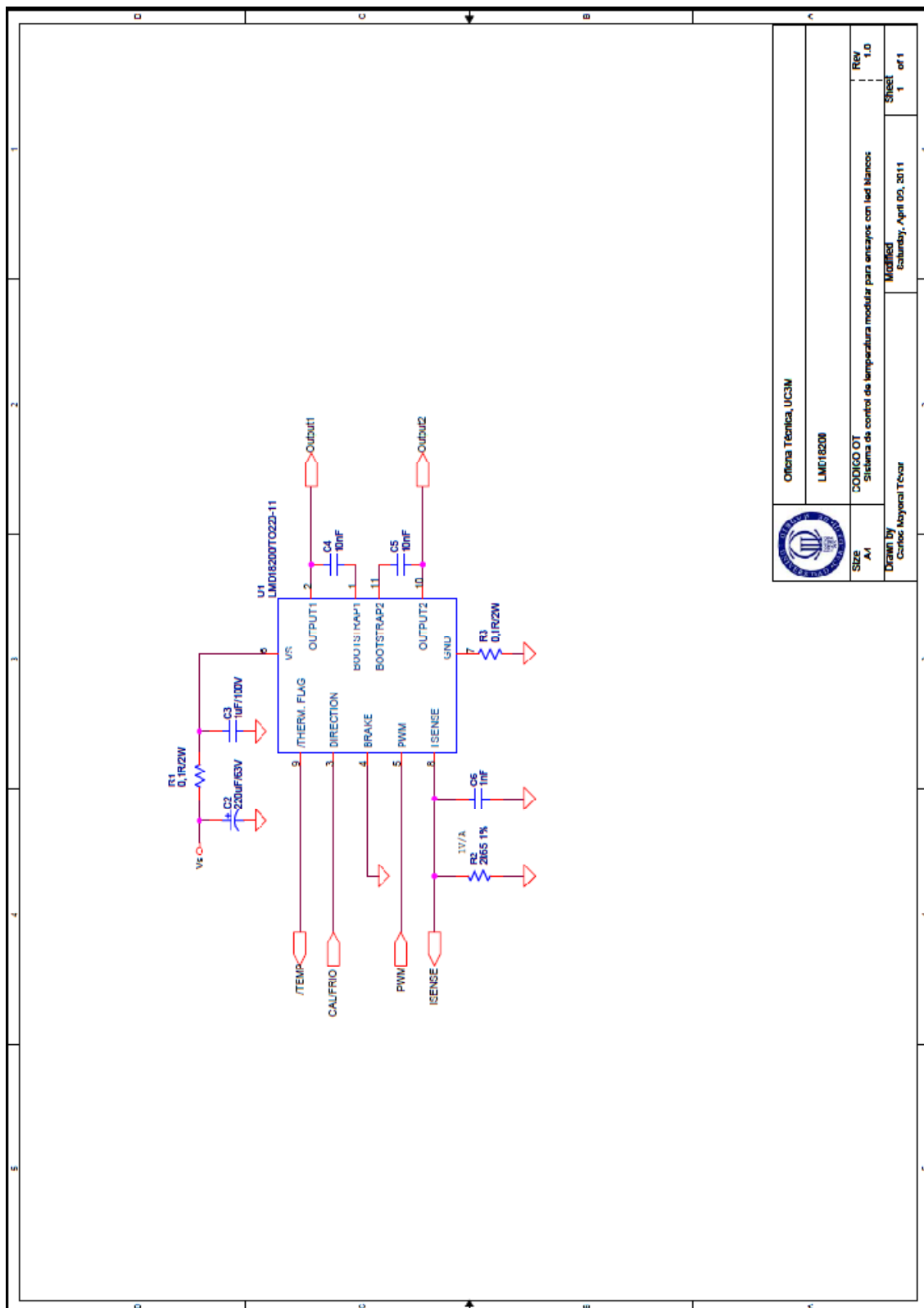
	Oficina Técnica, UCIAM	
	Alimentación	
Size A4	CODIGO 01 Sistema de control de temperatura modular para ensayos con led blancos	Rev 1.0
Drawn by Carlos Mayoral Tevar	Modified Saturday, April 19, 2011	Sheet 5 of 6





SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA MODULAR PARA ENSAYOS CON LED BLANCOS







PRESUPUESTO



Costes de material

<i>Item</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Referencia</i>	<i>Descripción</i>	<i>Precio/ud.</i>	<i>Subtotal</i>
1	1	ET-241-10--25-E	Peltier,sealed, 29.8V, 2.0A,40x40mm, 74C	74,22 €	74,22 €
2	1	ET-287-10-13-E	Peltier,sealed,35.5V, 3.9A, 40x40mm, 73C	77,33 €	77,33 €
3	1	TDEX3132/100/FMF12G	High Power Extruded Heatsink /Fan Assy	41,60 €	41,60 €
4	6	LMD18200T/NOPB	3 A, 55 V H-Bridge	12,66 €	75,96 €
5	1	N.A.	Componentes electrónicos varios	150,00 €	150,00 €
6	1	PCB	Consumibles fabricación circuito impreso doble cara	35,00 €	35,00 €

Costes de personal

<i>Horas</i>	<i>Personal empleado</i>	<i>Funciones desarrolladas</i>	<i>Precio/hora</i>	<i>Subtotal</i>
4	Técnico especialista	Fabricación PCB	35,00 €	140,00 €
50	Director de proyecto (Ing. Superior)	Supervisión y gestión de proyecto	175,00 €	8.750,00 €
750	Ingeniero Junior (Ing. Técnico)	Preparación de documentación	50,00 €	37.500,00 €

Total: 46.844,11 €



Bibliografía

- [1] **Creus Solé, A.**, *Instrumentación industrial*, (Marcombo, 1993, 5ª Ed.).
- [2] **Pallás Areny, R.**, *Sensores y acondicionadores de señal*, (Marcombo, 2003, 4ª Ed.).
- [3] **Barrado Bautista, A. y Lázaro Blanco, A.**, *Problemas de Electrónica de Potencia*, (Pearson Prentice Hall, 1ª Ed.).